

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Регулируемый электропривод движения ленты конвейера</b>

УДК 62-83-52:621.867.2

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Мажиев Шахзод Комилжон угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя  
ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студент:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Мажиеву Шахзоду Комилжон угли

Тема работы:

<b>Регулируемый электропривод движения ленты конвейера</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	Функциональная схема и имитационная модель электропривода Динамические характеристики электропривода

	Статические характеристики электродвигателя и электропривода Технико-экономические показатели
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.03.2020г..
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	К.Т.Н.		20.03.2020г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Мажиев Шахзод Комилжон угли		20.03.2020г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 135 страницу текста, 32 рисунков, 29 таблицы, 26 использованных источника.

ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ «ACS-800», ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС.

Цель работы – разработка и исследование регулируемого электропривода ленточного конвейера.

В первой главе описан технологический процесс обогащения угля и место ленточного конвейера в технологической цепи.

Во второй главе описан принцип действия и система управления конвейером.

В третьей главе произведен расчет конвейера и выбор основного электрооборудования, построены электромеханические и механические характеристики асинхронного электродвигателя.

Четвертая глава посвящена моделированию асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат.

В пятой главе представлен экономический расчет сметы затрат на приобретение основного электрооборудования, освещены вопросы стоимости ремонтно-эксплуатационного обслуживания электропривода.

Шестая глава содержит безопасность и экологичность проекта, где освещены вопросы: производственная санитария, техника безопасности,

пожарная безопасность, охрана окружающей среды и произведен расчет искусственного освещения.

Пояснительная записка ВКР выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2007, в работе использованы программы MATLAB, MathCAD, MicrosoftPaint, MicrosoftPowerPoint, MicrosoftVisio.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	13
1.1 ГРОХОЧЕНИЕ .....	14
1.1.1 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ.....	14
1.1.2 ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЯ .....	14
1.1.3 ДЕШЛАМАЦИЯ УГЛЯ НА ДУГОВЫХ СИТАХ И ГРОХОТАХ .....	15
1.2 ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ.....	16
1.2.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ШЛАМА В ГИДРОЦИКЛОНАХ- КЛАССИФИКАТОРАХ .....	16
1.3 ОБОГАЩЕНИЕ В ТЯЖЁЛЫХ СРЕДАХ.....	17
1.3.1 ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ В ТЯЖЕЛОСРЕДНЫХ СЕПАРАТОРАХ.....	17
1.3.2 ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ В ТЯЖЕЛОСРЕДНЫХ ГИДРОЦИКЛОНАХ ..	18
1.4 ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ В СПИРАЛЬНЫХ СЕПАРАТОРАХ.....	19
1.5 ОБЕЗВОЖИВАНИЕ В ЦЕНТРИФУГАХ.....	20
1.5.1 ОБЕЗВОЖИВАНИЕ КОНЦЕНТРАТА В ВИБРАЦИОННЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЦЕНТРИФУГАХ .....	21
1.5.2 ОБЕЗВОЖИВАНИЕ КОНЦЕНТРАТА СПИРАЛЬНЫХ СЕПАРАТОРОВ В ОСАДИТЕЛЬНО-ФИЛЬТРУЮЩИХ ЦЕНТРИФУГАХ .....	21
1.6 ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ФИЛЬТРОВАНИЕМ .....	22
1.7 ФЛОКУЛЯЦИЯ.....	23
1.8 СКЛАДИРОВАНИЕ И ПОГРУЗКА.....	25
1.9 ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ .....	25
2 ОПИСАНИЕ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА 120100Ф-180.....	27
2.1 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ КОНВЕЙЕРА .....	27
2.2 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИЕЙ .....	28
3 РАСЧЕТ КОНВЕЙЕРА И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	36
3.1 ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	36
3.2 ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ .....	36
3.3 ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА	38
3.4 РАСЧЕТ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА .....	40
3.4.1 ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА.....	40
3.4.2 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ КОНВЕЙЕРА .....	40
3.4.3 ТЯГОВЫЙ РАСЧЕТ .....	41
3.5 ВЫБОР АППАРАТОВ КОНТРОЛЯ, ЗАЩИТЫ И СИГНАЛИЗАЦИИ ...	45
3.5.1 КОНТРОЛЬ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ПОЛОТНА КОНВЕЙЕРОВ .....	45
3.5.2 КОНТРОЛЬ СХОДА И ОБРЫВА ЛЕНТЫ .....	47
3.5.3 КОНТРОЛЬ ЭКСТРЕННОГО ОСТАНОВА .....	48



3.5.4 КОНТРОЛЬ ЗАЩИТЫ БОВКИ .....	49
3.5.5 СИГНАЛИЗАТОР ЗВУКОВОЙ СЗВ .....	49
3.5.6 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ .....	49
3.6 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	54
3.6.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	54
3.6.2 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	59
3.6.3 РАСЧЕТ ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ...	60
3.6.4 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	62
4 МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ .....	70
4.1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	70
4.2 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДВУХФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ .....	75
4.3 ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ .....	76
4.3.1 ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	79
4.3.2 ИССЛЕДОВАНИЕ САУ ЭП С ЗАДАТЧИКОМ ИНТЕНСИВНОСТИ БЕЗКОМПЕНСАЦИИ МОМЕНТА.....	83
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» .....	85
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	86
5.1 ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ .....	87
5.1.1 АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ .....	87
5.1.2 SWOT-АНАЛИЗ.....	88
5.2 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ.....	90
5.2.1 СТРУКТУРА РАБОТ В РАМКАХ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ...	90
5.2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ .....	91
5.2.3 РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	91
5.2.4 ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРОЕКТА.....	95
5.2.5 БЮДЖЕТ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ .....	95
5.2.6 СЫРЬЕ, МАТЕРИАЛЫ, ПОКУПНЫЕ ИЗДЕЛИЯ И ПОЛУФАБРИКАТЫ (ЗА ВЫЧЕТОМ ОТХОДОВ).....	96
5.2.7 РАСЧЕТ АМОРТИЗАЦИИ.....	97
5.2.10 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА .....	101

5.2.11 ОТЧИСЛЕНИЯ ВО ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ (СТРАХОВЫЕ ОТЧИСЛЕНИЯ) .....	101
5.2.12 НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ .....	101
5.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ..	102
5.3.1 ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ...	103
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	107
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	108
6.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ .....	109
6.1.1 СПЕЦИАЛЬНЫЕ (ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРУЕМОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ) ПРАВОВЫЕ НОРМЫ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА .....	109
6.2.1. АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ.....	113
6.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....	118
6.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ .....	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	123
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	124
CONCLUSION .....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	128

## **ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день одним из наиболее прогрессивных видов транспорта, обеспечивающих высокую производительность при больших грузопотоках, является конвейерный транспорт. На любом современном предприятии конвейеры являются неотъемлемой частью технологического процесса, с их помощью регулируют темп производства, обеспечивают его ритмичность, способствуют повышению производительности труда, позволяют решать вопросы комплексной механизации транспортно-технологических процессов. Непосредственная связь конвейерных агрегатов с общим технологическим процессом производства предъявляет к ним высокие требования в отношении надежности и способности работать в автоматических режимах. Вновь проектируемые конвейеры должны быть достаточно прочными, надежными, долговечными и экономичными в эксплуатации, а изготовление их следует осуществлять с наименьшими затратами труда и материалов.

Конвейерный транспорт, по сравнению с автомобильным или железнодорожным транспортом, имеет следующие преимущества: процесс транспортирования происходит в автоматическом режиме, без участия человека, участие человека сводится только к обслуживанию механизмов, что обеспечивает более высокую производительность труда и его безопасность; требуется использование только электрической энергии, тогда как колесный и железнодорожный транспорт потребляет более дорогое натуральное органическое топливо.

Уголь является основным технологическим сырьем для производства и использования в металлургическом производстве, химической промышленности и энергетике России. В современных экономических условиях большое значение имеет себестоимость добычи угля, которую необходимо снижать, что реально при снижении затрат на вспомогательные работы.

Рост добычи угля обусловил мировое применение конвейерного транспорта, обладающего рядом преимуществ: высокая производительность, работа с автоматизированным управлением, низкая трудоемкость обслуживания, возможность бесступенчатой транспортировки горных масс.

Ленточные конвейеры широко используются в металлургической, горнодобывающей и других видах промышленности для транспортировки насыпных и штучных грузов как на небольшие расстояния, так и в отдаленные технологические пункты предприятий. Простота и надежность их конструкции обеспечивает работу в течение длительного времени. Ленточные конвейеры используются как в закрытых, так и на открытых участках, что объясняет их широкое использование в промышленности. Конвейеры относятся к машинам непрерывного типа действия и характеризуются непрерывным перемещением грузов по заданной трассе без остановок для загрузки и разгрузки. Перемещаемый насыпной груз располагается сплошным слоем на несущем элементе машины – ленте или отдельными порциями. Благодаря непрерывности перемещения груза, отсутствию остановок для загрузки и разгрузки и совмещению рабочего и обратного движений грузонесущего элемента машины непрерывного действия имеют высокую производительность, что очень важно для современных предприятий с большими грузопотоками.

Обогатительная фабрика «Распадская» построена в соответствии с высокими инженерными стандартами и оснащена высококачественным технологическим оборудованием для обогащения углей шахты «Распадская». Она использует прогрессивную обогатительную технологию с замкнутой водно-шламовой схемой.

Обогатительная фабрика «Распадская» использует современное импортное и отечественное технологическое оборудование высокого качества, которое обеспечивает надежную и эффективную работу. Технологическая схема и планировка фабрики обеспечивают значительную производственную гибкость. В

выпускной квалификационной работе рассмотрен вопрос расчета и исследования ленточного конвейера 120100ф-180.

## **1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Для приема и складирования рядового угля марки «ГЖ», выдаваемого шахтой ЗАО «Распадской», на ЗАО «ОФ «Распадская»» имеется склад напольного типа емкостью 40 000 тонн (~на 2 суток). Интенсивность выдачи угля из шахты – до 4000 тонн/час. На складе предусматривается также прием рядовых углей, доставляемых автотранспортом. [3]

Со склада рядовой уголь через разгрузочные проемы качающими питателями ПК-1,2-10МК подается на ленточные конвейера 120100Ф-180, на которых имеются конвейерные весы, электромагнитные железоотделители ЭЖЗ-120С, маятниковые пробоотборники с проборазделачными машинами МПЛ. Затем уголь поступает на обогащение в главный корпус обогатительной фабрики.

Углеподготовка располагается в главном корпусе обогатительной фабрики. Подготовительное грохочение проводится в цилиндрическом грохоте ГЦ-3. Сито грохота с размером ячеек 150х150мм предусмотрено для отделения из рядового угля кусков крупнее 150мм. Для условий шахты «Распадская» указанный класс крупности представлен в основном породой. Верхний предел крупности угля, поступающего на обогащение, обусловлен требованиями потребительского ГОСТа для коксующихся углей – не более 150мм. Из надрешетного продукта класса крупнее 150мм, поступающего на конвейер, предусмотрена ручная выборка для удаления единичных кусков угля и посторонних предметов.

Учитывая высокие требования, предъявляемые к качеству концентрата, обогащение на ЗАО «ОФ «Распадская»» проводится с выделением двух продуктов (концентрата и породы) с разделением процесса обогащения по четырем машинным классам:

класс +13мм - в тяжёлых сепараторах в одну стадию с выделением концентрата и породы;

класс 1,3 - 13мм - в тяжёлых гидроциклонах в одну стадию с выделением концентрата и породы;

класс 0,15 - 1,3мм - в спиральных сепараторах в одну стадию с выделением концентрата и породы;

класс -0,15мм — флокуляция, сгущение в радиальных сгустителях и обезвоживание на ленточных фильтр-прессах.

## **1.1 Грохочение**

### **1.1.1 Предварительная классификация**

Предварительная классификация предназначена для удаления из рядового угля крупного класса, максимальный размер которого превышает требуемую крупность для обогатительного оборудования.

Предварительная классификация ведется на цилиндрическом грохоте ГЦ-3 по зерну 150 мм. Эффективность грохочения составляет 85-90 %.

К операции предварительной классификации предъявляются следующие требования:

обеспечение необходимой производительности по переработке рядового угля;

обеспечение требуемой эффективности грохочения.

### **1.1.2 Подготовительная классификация угля**

Мокрая классификация по классу 13мм проводится на грохотах ГИСТ-72АК. Подрешётный продукт предварительного грохочения (класс -13мм)

поступает на дешламационное дуговое сито SSB и грохот дешламационный горизонтальный однодечный с линейной вибрацией 6X16SD. Надрешетный продукт класс +13 мм поступает на обогащение в тяжелосредный сепаратор.

При мокрой подготовительной классификации необходимо выдерживать следующие требования:

- расход воды при мокрой классификации угля при размере отверстий 13 мм должен быть не менее 1,2-1,4 м<sup>3</sup>/т;
- содержание класса 0-1 мм в машинном классе +13 мм не должно превышать 2.0%;
- производительность и эффективность классификации должны соответствовать проектным данным и режимной карте подготовительной классификации.

### **1.1.3 Дешламация угля на дуговых ситах и грохотах**

Дешламация предназначена для отделения шлама перед обогащением класса 1,3-13 мм в тяжелосредных гидроциклонах.

Дешламация осуществляется на дуговых ситах и дешламационных грохотах. При дешламации необходимо выдерживать следующие требования:

- расход воды при дешламации угля при размере отверстий 1,3 мм должен быть 1,2-1,4 м<sup>3</sup>/т;
- содержание класса 0-1,3 мм в машинном классе 1,3-13 мм не должно превышать 2,0%;
- производительность и эффективность дешламации должны соответствовать проектным данным и режимной карте.

## **1.2 Гидравлическая классификация**

Подрешётный продукт дешламации (класс - 1,3 мм) и фугаты центрифуг HSG-1100 по обезвоживанию концентрата тяжелосредних гидроциклонов направляются в зумпф питания гидроциклонов классификаторов, откуда центробежными насосами подаётся в блок гидроциклонов классификаторов (D=360,9шт.), где происходит гидроклассификация шламов по зерну 0,15мм. Слив гидроциклонов-классификаторов (класс - 0,15мм) поступает в радиальный сгуститель 1 стадии, а песковый продукт (класс + 0,15мм) - на обогащение в спиральные сепараторы.

### **1.2.1 Классификация шлама в гидроциклонах-классификаторах**

Для классификации крупных шламов перед обогащением в спиральных сепараторах на фабрике используют гидроциклоны D=360 мм с граничным зерном разделения 0,15 мм. При работе гидроциклонов особое внимание следует обращать на:

- давление перед гидроциклоном (контролировать величину напора пульпы по показаниям манометра) и вытеканием сгущенного продукта из песковой насадки. При чрезмерном повышении концентрации твердого в сгущенном продукте или появлении в нем большого числа крупных зерен возможна забивка выпускного отверстия. В этом случае все крупные зерна направляются в слив, что нарушит работу водно-шламовой схемы и технологических процессов, поэтому не допускается забивка песковых насадок;
- обеспечение предельно допустимой нагрузки. Превышение нагрузки влечет за собой увеличение граничного зерна классификации.



## **1.3 Обогащение в тяжёлых средах**

### **1.3.1 Обогащение угля в тяжелосредних сепараторах**

Надрешётный продукт мокрой классификации (класс +13мм) поступает на конвейер и далее на обогащение в тяжёлосредний сепаратор СКВП-32. При плотности суспензии (смесь железорудного концентрата - магнетита и воды)  $1.7-1,8\text{г/см}^3$  происходит разделение на 2 продукта: концентрат и породу. Всплывший продукт - концентрат после отделения кондиционной и некондиционной суспензии, после обезвоживания на грохоте ГИСТ-72АК и дополнительного обезвоживания класса - 40мм на вибрационной центрифуге HSG-1100 конвейерами 10063Ф-80 и конвейерами 160100Ф-180 направляется на склад готовой продукции; потонувший - порода, разгружается элеваторным колесом и поступает на обезвоживание и отмывку суспензии на грохот ГИСТ-62УК, а затем конвейерами - в породный бункер.

Регенерация некондиционной суспензии происходит путём её подачи из зумпфа некондиционной суспензии центробежными насосами 6/4Е-Р на обогащение на одnobарабанный сепаратор на постоянных магнитах 36Х72. Магнетитовый концентрат поступает в зумпф кондиционной суспензии, откуда суспензия центробежными насосами 8/6F-Р в сепаратор СКВП-32. При подаче суспензии в сепаратор формируется два потока: вертикальный - для поддержания равномерной плотности суспензии по глубине ванны сепаратора (для уменьшения степени расслоения суспензии) и горизонтальный, основная функция которого - транспортная.

При работе необходимо соблюдать следующие требования:

- в питании сепаратора содержание класса 0-1,3 мм не должно превышать 2.0%;
- плотность магнетитовой суспензии должна регулироваться системой автоматического регулирования;
- нагрузка на сепаратор не должна превышать установленную режимной картой.

В технологическом процессе обогащения угля в тяжелой среде (магнетитовой суспензии) основное значение имеет регенерация суспензии. Регенерация суспензии тяжелосредных сепараторов осуществляется на одnobарабанных сепараторах с постоянными магнитами.

Основные требования, предъявляемые к процессу регенерации:

- подача на сепараторы суспензии должна быть постоянной;
- объем перелива должен составлять 70-80 % от общего потока;
- не допускать поступления крупных частиц (размером более 5 мм).

Контроль результатов работы сепаратора осуществляется по экспресс-анализам засорения продуктов посторонними фракциями, не допуская превышения установленных норм засорения.

### **1.3.2 Обогащение угля в тяжелосредных гидроциклонах**

Надрешётный продукт дешламационных грохотов (класс+1,3 - 13мм) направляется в зумпф питания тяжелосредных гидроциклонов, откуда вместе с суспензией центробежными насосами 10/8F-P подаётся в тяжёлосредные гидроциклоны 24В (D=610мм, 4шт.). Обогащение происходит в одну стадию с выделением 2-х продуктов: со сливом выделяется концентрат, который после отделения кондиционной, некондиционной суспензии и обезвоживания на дуговом сите SSB и грохоте 6X16SD и дополнительного обезвоживания на вибрационной центрифуге HSG-1100 конвейерами направляется на склад готовой продукции; с песками выделяется 2-й продукт - отходы и после отделения кондиционной и некондиционной суспензии и обезвоживания на дуговом сите SSB и грохоте 6X16SD посредством конвейера 10063Ф-80 и конвейеров 12080Ф-120 и 120125Ф-200 поступает в бункера породы. Регенерация некондиционной суспензии производится путём её подачи из гупфа некондиционной суспензии центробежными насосами 6/4К-Р на двухбарабанный сепаратор на постоянных

магнитах 36X120. Магнетитовый концентрат поступает в зумпф питания тяжелосредних гидроциклонов.

Процесс обогащения ведется по плотности разделения 1700-1820 кг/м<sup>3</sup>.

При обогащении угля в тяжелосредних гидроциклонах необходимо выдерживать следующие требования:

- в питании гидроциклонов содержание класса 0-1,3 мм не должно превышать 2 %;
- содержание угля в пульпе, поступающей в гидроциклон, не должно превышать проектную величину, а также установленную режимной картой;
- поддержание плотности магнетитовой суспензии должно осуществляться автоматической системой;
- исключить попадание в питание гидроциклонов кусков размером более 13 мм;
- поддерживать постоянное давление на входе в гидроциклон;
- не реже одного раза в месяц проверять износ песковой насадки и производить осмотр внутренней футеровки гидроциклона;
- контролировать по экспресс-анализам засорения продуктов тяжелосреднего гидроциклона посторонними фракциями, не допуская превышения установленных норм засорения.

#### **1.4 Обогащение угля в спиральных сепараторах**

Обогащение в спиральных сепараторах происходит в одну стадию с выделением концентрата и породы. Концентрат после дешламации на дуговом сите SSB и обезвоживании в осадительно-фильтрующей центрифуге Декантер 44х132 конвейерами направляется на склад готовой продукции. Порода после дешламации на дуговом сите SSB и обезвоживания на горизонтальном высокочастотном грохоте IDS 30R48 LD конвейерами транспортируется в бункера породы.

Для оптимальной работы сепаратора требуется равномерное распределение исходного питания между всеми спиральными заходами, что обеспечивает распределитель питания со статическим напором. Управление спиральным сепаратором заключается в том, чтобы поддерживать постоянными плотность питания (нормальной плотностью для работы сепараторов является 1120 г/л), объем прохождения и скорость потока суспензии. Таким образом, в распределителе питания должен быть установлен постоянный гидростатический уровень. Регулирование этих параметров производится изменением объема оборотной воды, подаваемой в сборный желоб стущенного продукта гидроциклонов и изменением числа работающих гидроциклонов.

Скорость подачи питания должна быть равномерной (обычно нагрузка по питанию сепаратора от 2,0 до 3,5 т/ч на каждый заход). Очень важно обеспечить постоянную скорость подачи питания, так как колебания скорости могут ухудшить качественные показатели работы сепаратора. Спирали должны регулярно промываться чистой водой, а отложения, образующиеся на поверхности желоба, следует удалять.

### **1.5 Обезвоживание в центрифугах**

В водно-шламовой схеме фабрики эксплуатируется следующее основное оборудование для обезвоживания:

- центрифуги, фильтрующие вибрационные HSG-1100 для обезвоживания концентрата после обогащения в тяжелосредних гидроциклонах класса менее 13 мм;
- центрифуги осадительно-фильтрующие, для обезвоживания концентрата спиральных сепараторов;
- центрифуги, фильтрующие вибрационные HSG-1100 для обезвоживания концентрата после обогащения в тяжелосредних сепараторах класса менее 18 мм.

### **1.5.1 Обезвоживание концентрата в вибрационных фильтрующих центрифугах**

Основные требования при эксплуатации:

- фактор разделения, от которого зависит эффективность работы центрифуги и унос твердого с фугатом (с увеличением фактора разделения эффективность работы центрифуги повышается);
- обеспечение требуемой влажности обезвоженного продукта;
- обеспечение равномерной подачи питания и разгрузки конечных продуктов;
- обеспечение содержания в фугате минимального количества твердого и крупных зерен;
- обеспечение целостности сита ротора и установленного размера щели сита.

### **1.5.2 Обезвоживание концентрата спиральных сепараторов в осадительно-фильтрующих центрифугах**

Для обезвоживания концентрата спиральных сепараторов, на фабрике применяются осадительно-фильтрующие центрифуги.

Основные требования при эксплуатации:

- фактор разделения, от которого зависит эффективность работы центрифуги и унос твердого с фугатом (с увеличением фактора разделения эффективность работы центрифуги повышается);
- обеспечение требуемой влажности обезвоженного концентрата;
- обеспечение равномерной подачи питания и разгрузки конечных продуктов;
- обеспечение содержания в фугате минимального количества твердого и крупных зерен;
- обеспечение целостности сита ротора и установленного размера щели сита.

## 1.6 Обезвоживание фильтрованием

Для обезвоживания сгущенных шламов на фабрике применяется шесть ленточных фильтр-прессов (на каждую секцию 3). На одном фильтр-прессе осуществляется обезвоживание сгущенного продукта первой стадии сгущения и направление его в концентрат. На втором фильтр-прессе осуществляется обезвоживание сгущенного продукта второй стадии сгущения и направление его в отходы. А третий фильтр-пресс реверсивный. Данный процесс ведется с использованием полимерных флокулянтов анионного и катионного типов. Расход флокулянтов, точки подачи, концентрация раствора устанавливается опытным путем.

Применение ленточного фильтр-пресса непрерывного действия позволяет обеспечить полное замыкание водно-шламовой схемы внутри фабрики. С целью обеспечения максимальной производительности фильтр-пресса на него необходимо подавать предварительно сгущенный до 300 - 450 кг/м<sup>3</sup> продукт.

Процесс обезвоживания протекает более эффективно, когда в зоне максимального сжатия лент фильтр-пресса не происходит «выдавливание» сгущенного осадка по краям ленточного фильтр-полотна, которое должно легко промываться и пропускать через себя фильтрат с минимальным содержанием взвешенных частиц.

Для обеспечения нормального функционирования фильтр-пресса и протекания процесса обезвоживания исходная пульпа должна, равномерно распределяться по всей ширине фильтрующей поверхности. Недопустимо наличие на ленте свободных участков, не занятых пульпой. При наличии неравномерности распределения питания следует отрегулировать работу насоса подающего питание на фильтр-пресс.

При эксплуатации фильтр-пресса необходимо выдерживать следующие параметры:

- объем подаваемой пульпы;

- обработку пульпы флокулянтами (дозировка и соотношение);
- оптимальную скорость движения лент фильтр-пресса;
- равномерное распределение пульпы по всей ширине фильтрующей поверхности;
- своевременную и полную (без черных полос) промывка фильтрующих лент;
- полное удаление обезвоженного осадка с фильтрующих лент;
- поддержание натяжения верхней и нижней фильтрующих лент;
- соблюдение технологии приготовления флокулянтов.

### **1.7 Флокуляция**

Сгущение шламов и осветление оборотной воды происходит в 2 стадии в радиальных сгустителях с центральным приводом ( $D=26m$ ).

В радиальный сгуститель с центральным приводом первой стадии ( $D=26m$ ) совместно со сливом гидроциклонов-классификаторов подаётся фугат фильтрующей секции осадительно-фильтрующих центрифуг Декантер ишламовые воды из бака шламовых вод ёмкостью  $1117m^3$  центробежнымишламовыми насосами ШН-250-34,а также фильтраты концентратных фильтр-прессов. В сгустителе происходит осаждение шламов обработанных флокулянтom анионного типа, перемещение их по конусному дну к центру гребковой фермой, откуда центробежными одноступенчатыми горизонтальными насосами подаётся на обезвоживание на ленточный фильтр-пресс WXG-3.0. Обезвоженный продукт направляется в присадку к концентрату. В сливной желоб сгустителя подаётся флокулянт катионного типа, затем анионного, а также фугат осадительной секции осадительно-фильтрующих центрифуг, подрешётный продукт грохота отходов спиральных сепараторов. После чего обработанный флокулянтами слив первой стадии направляется в сгуститель второй стадии.

В радиальный сгуститель с центральным приводом второй стадии ( $D=26m$ ), кроме слива первой стадии сгущения, подаются центробежным одноступенчатым насосом 4/3D -Р фильтрат породного ленточного фильтр-пресса WXG-3.0 и подрешётный продукт грохота отходов спиральных сепараторов. Слив поступает в бак осветлённой воды ёмкостью  $500m^3$ , а далее центробежными одноступенчатыми горизонтальными насосами подачи осветлённой воды 10/8 F-Р поступает в оборот, а центробежными многоступенчатыми насосами общего назначения 202 FP 3L - на промывку фильтрующих лент фильтр-прессов. Сгущённый продукт центробежными одноступенчатыми горизонтальными насосами 4/3 D - Р подаётся на обезвоживание на ленточный фильтр-пресс WXG-3.0, а далее в присадку к отходам производства.

Процесс сгущения второй стадии ведётся с использованием полимерных флокулянтов анионного и катионного типа.

Дозировка флокулянтов определяется опытным путем.

Основными параметрами, характеризующими работу сгустителя, являются:

- нагрузка по твердому и по объёму суспензии;
- глубина зоны сгущения и скорость осаждения;
- концентрация твердого в сгущенном продукте и сливе.

При постоянном содержании твердого в питании сгустителя и своевременном удалении сгущенного продукта обеспечивается стабильная нагрузка на привод сгустителя и оптимизация работы флокулянтов. Для нормальной работы сгустителя с учётом минимально возможных колебаний производительности высота осветленного слоя должна быть в пределах 2,8 м, а содержание твердого в сливе до 2 г/л.



## **1.8 Складирование и погрузка**

Концентрат конвейером 160100Ф-180 из главного корпуса по галерее поступает на склад готовой продукции, а далее посредством шибера направляется либо на конвейер 160100Ф-180 с разгрузочной тележкой, либо на конвейер 160100Ф-180 с разгрузочной тележкой, посредством которых проводится заполнение укрытого склада готовой продукции концентратом суммарной ёмкостью 31 000 тонн.

Со склада готовой продукции через разгрузочные проёмы: концентрат качающимися питателями ПК-1,2-10 МК, поступает на конвейер 160125Ф-200 и далее на конвейера погрузочно-складского комплекса ОАО «Распадская». Отгрузка со склада концентрата ведётся согласно утверждённому графику.

## **1.9 Ленточный конвейер в технологической цепи обогащения угля**

В современном производстве конвейеры являются неотъемлемой частью технологического процесса, они регулируют темп производства, обеспечивают его ритмичность, способствуют повышению производительности труда, позволяют решать вопросы комплексной механизации транспортно-технологических процессов.

На рисунке 1 показано расположение ленточного конвейера в технологической цепочке обогащения угля. Со склада рядового угля ёмкостью 40000 тыс. тонн рядовой уголь через разгрузочные проемы качающимися питателями подаётся на ленточные конвейера. Затем уголь поступает на обогащение в главный корпус обогатительной фабрики. [3]



Рисунок 1 - Ленточный конвейер в технологической цепи обогащения угля

## **2 ОПИСАНИЕ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА 120100Ф-180**

### **2.1 Устройство и принцип действия конвейера**

Ленточный конвейер условно можно разбить на три основные части: головную, среднюю и хвостовую. В качестве несущего (транспортирующего) и тягового органа применяются резинотканевые ленты с гладкой поверхностью. Верхняя ветвь ленты конвейера, в большинстве случаев, имеет желобчатость за счёт применения желобчатых роlikоопор. Загрузка верхней ветви ленты производится загрузочными устройствами (качающимися питателями), расположенным в хвостовой части конвейера. Разгрузка конвейера производится через приводной (головной) барабан.

В движение конвейерная лента приводится фрикционным приводом. Привод конвейера состоит из приводного барабана и приводного механизма, соединённых между собой тихоходной муфтой. Приводной механизм состоит из двигателя, редуктора и соединяющей их муфты, которые устанавливаются на своей раме. [2]

Конвейерная лента располагается на роlikоопорах: верхняя ветвь ленты на верхних желобчатых, нижняя ветвь на нижних прямых. Обеспечение фрикционной связи приводного барабана с лентой осуществляется путём натяжения ленты конвейерной натяжным устройством.

Приводной барабан и натяжное устройство устанавливаются на свои опоры, а роlikоопоры - на секции, которые сами устанавливаются на стойки средней части конвейера. Нижняя ветвь ленты поддерживается прямыми верхними роlikоопорами, которые устанавливаются на стойках с кронштейном.

Ленточный конвейер имеет тяговый элемент 7 (рисунок 2) в виде бесконечной ленты, являющейся и несущим элементом конвейера, привод 13, приводящий в движение барабан 14, натяжное устройство 2 с барабаном 3, груз, роlikовые опоры 6 на рабочей ветви ленты и 5 на холостой ветви ленты, отклоняющий барабан 8, загрузочное устройство 4 и разгрузочные устройства 9

и 10, разгрузочный желоб 11 и устройство 12 для очистки ленты. Все элементы смонтированы на раме конвейера. [7]

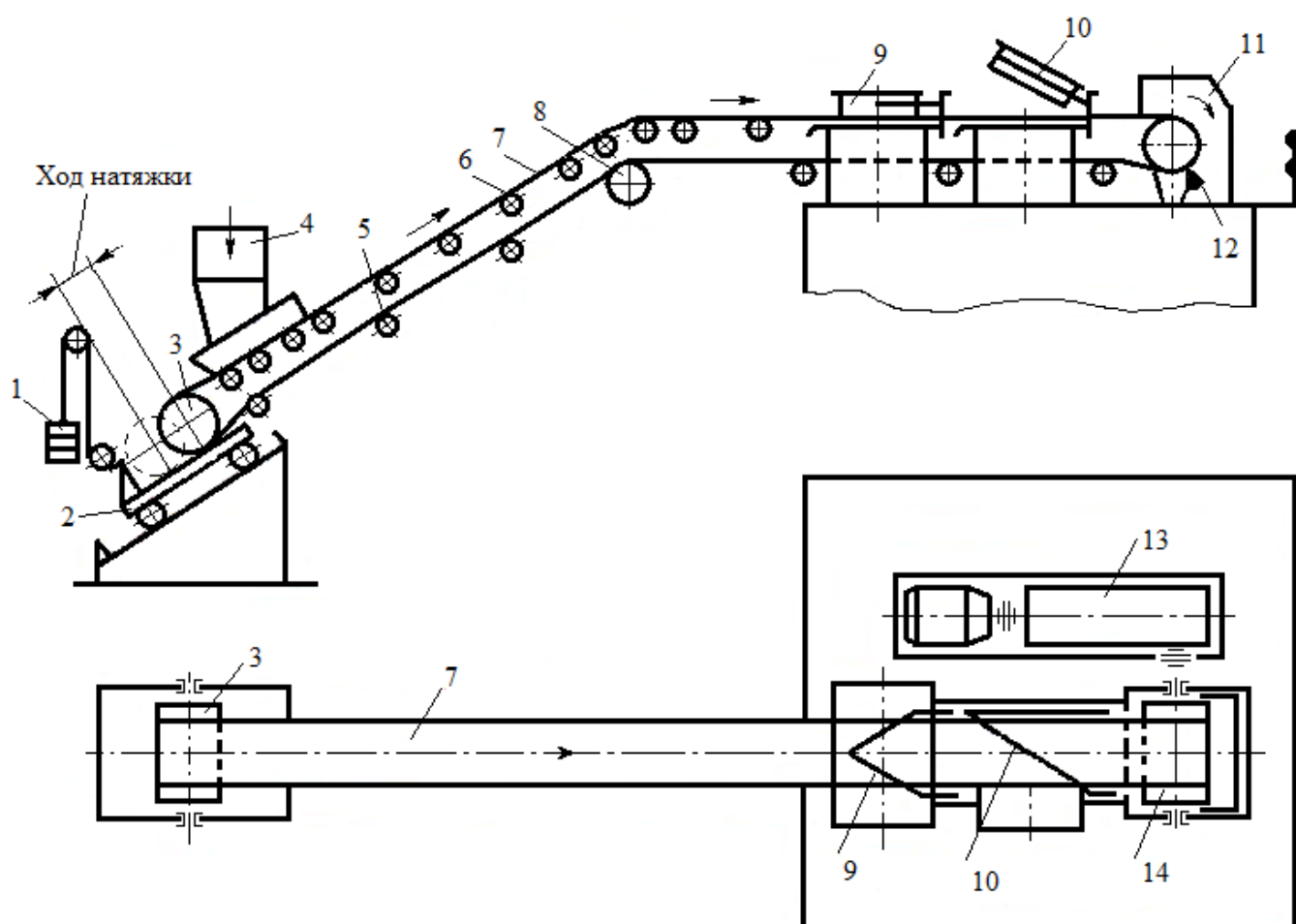


Рисунок 2- Функциональная схема конвейера

## 2.2 Система управления конвейерной линией

Система управления конвейерной линией является распределенной, трехуровневой. Верхний уровень управления представлен персональным компьютером, средний уровень управления реализуется программируемым логическим контроллером ПЛК фирмы «Kontron», нижний датчики контроля и защиты. [3]

ПЛК получает сигналы от датчика скорости ДС, схода ленты ДЛ, завала места перегрузки ДЗ, экстренного останова ДО, кнопок местного управления SB1 (пуск), SB2 (стоп), переключателя ВР выбора режима управления (ручной или автоматический) и персонального компьютера ПК.

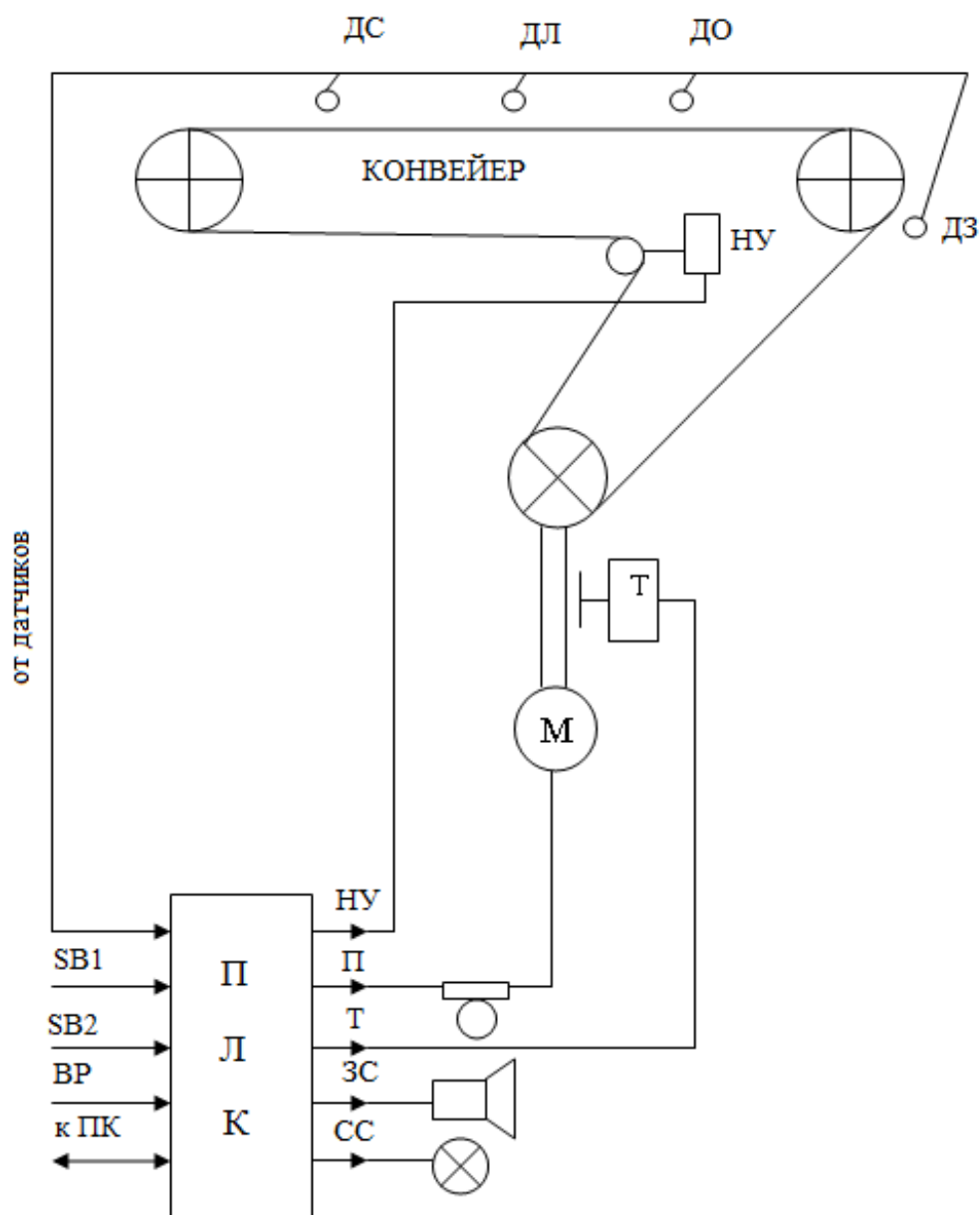


Рисунок 3- Система управления конвейерной линии

На выходе ПЛК формируются сигналы управления пускателем П, тормозом Т, натяжным устройством НУ, звуковой ЗС и световой СС сигнализацией. На

верхнем уровне управления (ЭВМ) решаются задачи комплексного контроля и координации транспортного процесса, оперативного управления работой конвейерной линии.

АСУ КЛ обеспечивает выполнение следующих требований:

## 1. Управление

1.1. Автоматическое управление пуском/остановом конвейера в функции скорости с корректировкой по времени.

1.2. Выбор режима управления («Авт», «Руч»);

1.3. Экстренный останов конвейерной линии с любой точки трассы по команде эксплуатационного персонала;

1.4. Автоматическое управление натяжным устройством конвейера при пуске по закону, показанному на рисунке 4. Натяжение ленты на время пуска увеличивается на 30-50 %.

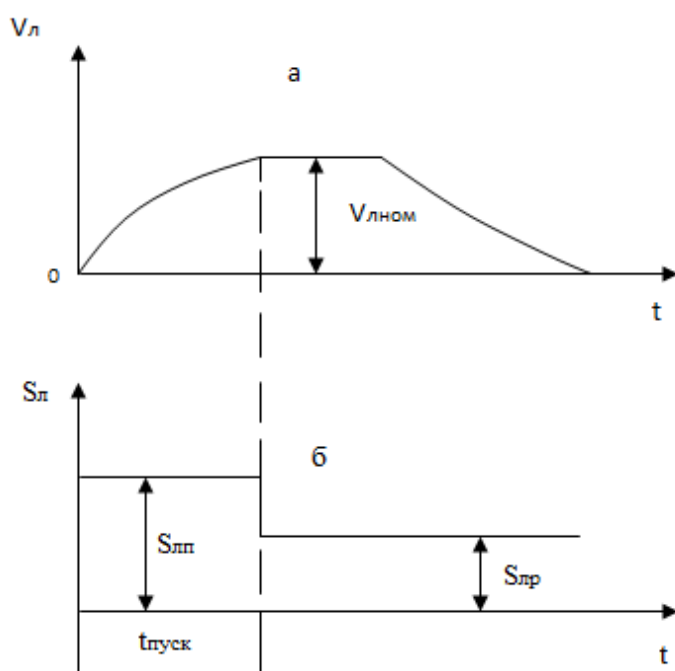


Рисунок 4- Диаграммы изменения скорости (а) и натяжения (б) ленты:

$V_{л ном}$  - номинальная скорость движения ленты;  $S_{лп}$ ,  $S_{лр}$  - натяжение ленты при пуске и работе;  $t_{пуск}$  - время разгона конвейера до номинальной скорости

1.5. Автоматическое управление тормозом конвейера при пуске и останове по закону, изображенному на рисунке 5. Состояние тормоза изменяется при достижении лентой скорости 5-10 % от номинальной (при скорости ниже указанной тормоз включается).

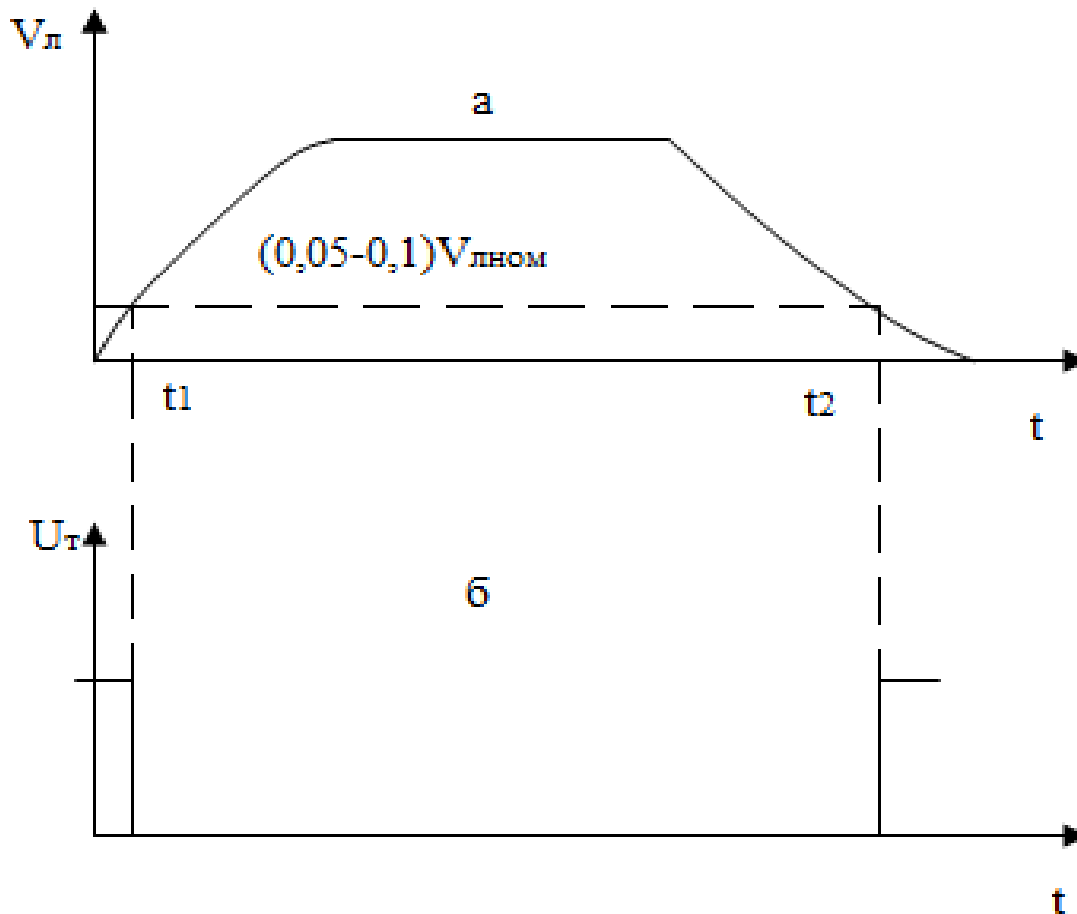


Рисунок 5 - Диаграммы изменения скорости ленты (а) и управления тормозом (б)

2. Автоматическая защита путем отключения аварийного конвейера и всех последующих за ним (в направлении против грузопотока) при завале места перегрузки, сходе ленты, снижении скорости ленты на 25 % от номинального значения, обрыве ленты, затянувшемся пуске.

### 3. Контроль, сигнализация, индикация:

3.1. Непрерывное измерение скорости ленты конвейера.

3.2. Индикация на экране монитора величины скорости, режима управления, состояния конвейера, причин и мест срабатывания защит.

3.3. Контроль выдержки времени звучания предупредительной и аварийной сигнализаций, времени пуска конвейера.

3.4. Предупредительная звуковая сигнализация по линии перед ее включением либо пуском любого из конвейеров.

3.5. Световая и звуковая сигнализация о срабатывании защиты конвейера.

Алгоритмы управления, контроля и защиты отвечающие вышеизложенным требованиям, представлены на рисунках 6, 7, 8. [3]



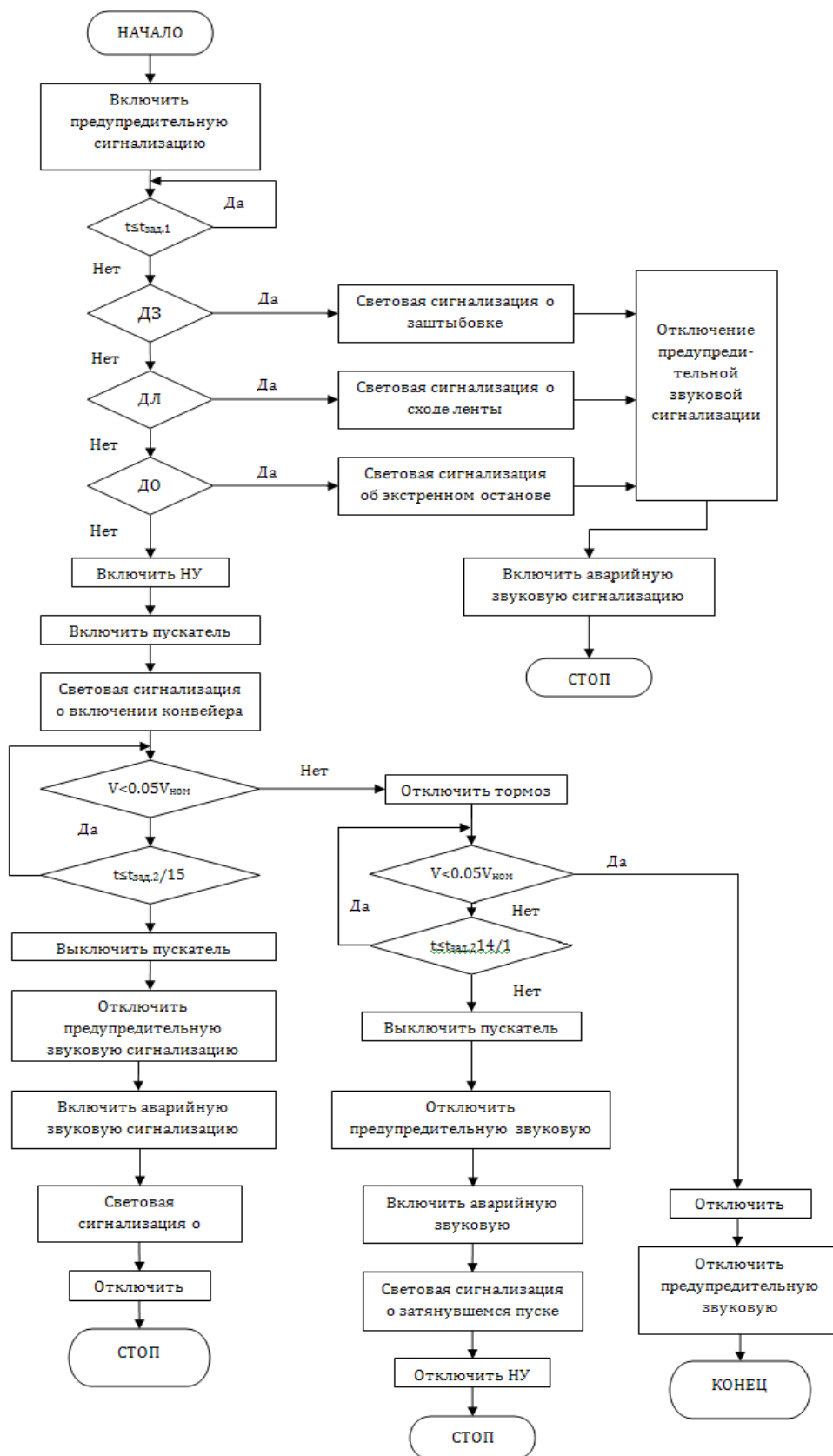


Рисунок 6 - Алгоритм локального управления пуском конвейера

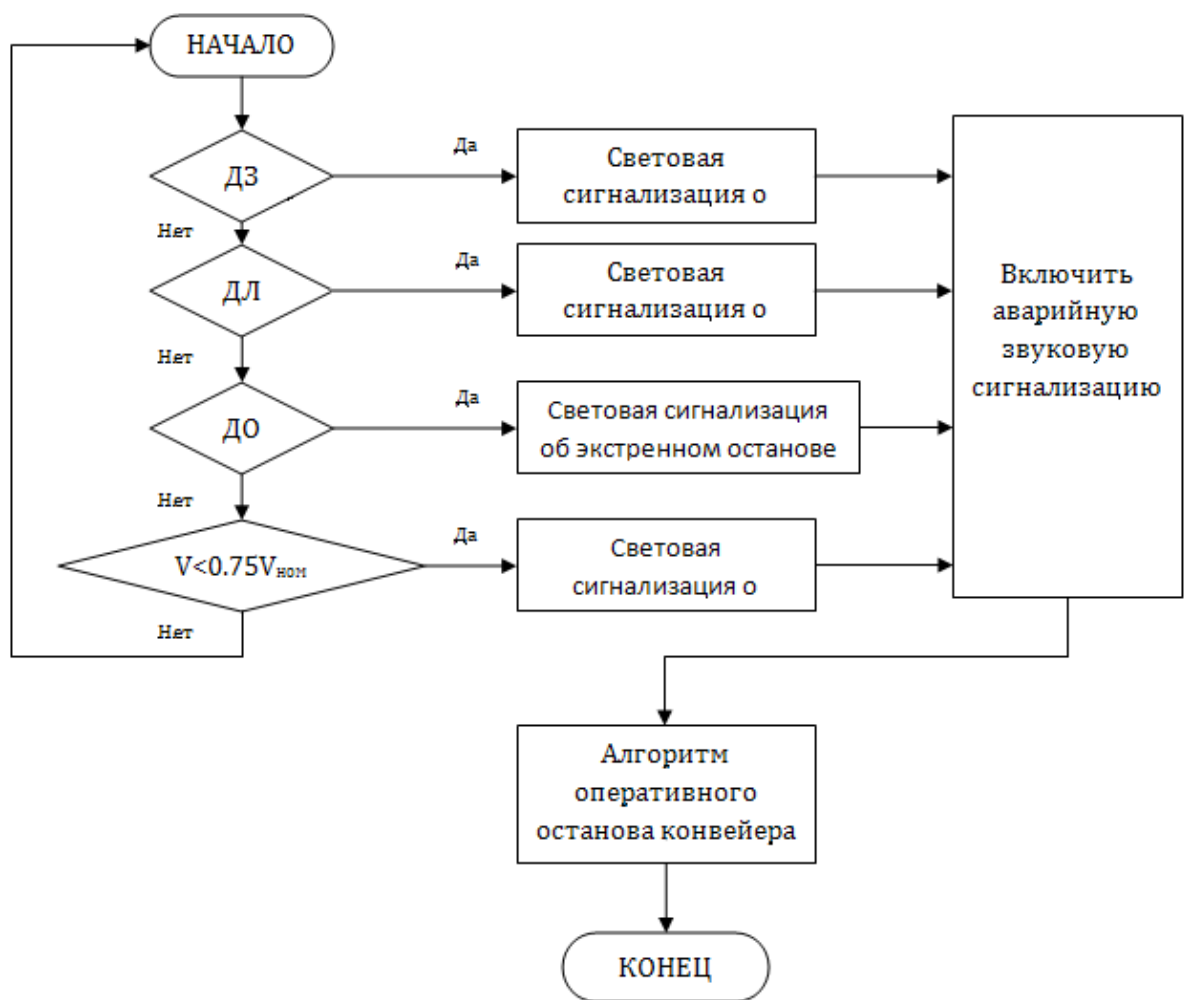


Рисунок 7 - Алгоритм автоматического контроля и защиты

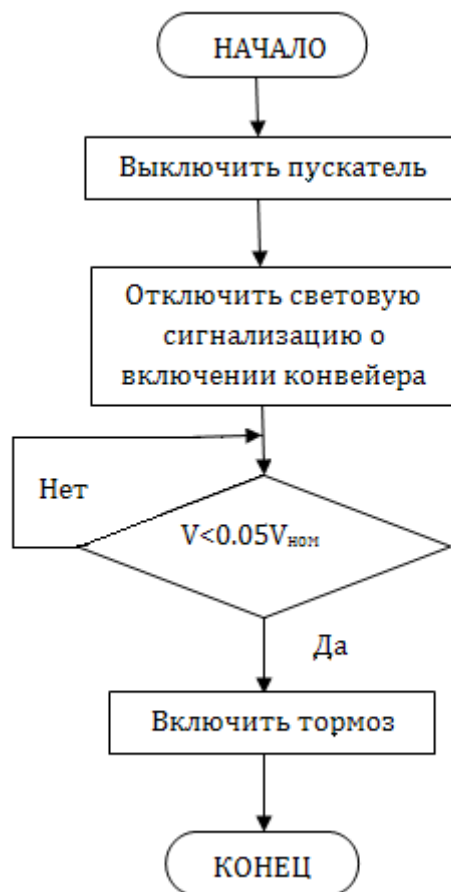


Рисунок – 8 Алгоритм останова конвейера

## **3 РАСЧЕТ КОНВЕЙЕРА И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

### **3.1 Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода**

Исполнительные механизмы ленточного конвейера для большинства существующих конвейеров приводятся в движение регулируемыми электроприводами постоянного тока. Использование таких приводов являлось типовым для ранее разработанных систем.

При модернизации таких электроприводов стремятся не только уйти от морально устаревшего и физически изношенного оборудования, но и решить ряд задач технико-экономического характера, а именно: снижение эксплуатационных расходов по обслуживанию системы; повышение технологической гибкости через совершенствование управления; обеспечение возможности интеграции в систему управления более высокого уровня.

В таких случаях предлагается перейти к использованию асинхронных электроприводов с частотным регулированием, которые по функциональным возможностям и эксплуатационным характеристикам отвечают техническим требованиям и условиям поставленной задачи.

### **3.2 Преимущества и недостатки использования асинхронных электроприводов**

При принятии решения о переходе к асинхронному электроприводу необходимо правильно оценить затраты и, что более важно, соизмерить их с достигаемым при этом эффектом. Перечислим экономические предпосылки перехода к асинхронному электроприводу, наиболее значимые для рассматриваемого объекта автоматизации.

*Стоимость.* Асинхронная короткозамкнутая машина имеет более низкую стоимость по сравнению с машиной постоянного тока.

*Затраты на обслуживание.* Асинхронная короткозамкнутая машина практически не требует обслуживания в течение всего времени эксплуатации, в

то время как машина постоянного тока нуждается в регулярном обслуживании коллекторного узла.

*Затраты на ремонт электрической машины.*Общий объем затрат на организацию и проведение ремонта двигателей постоянного тока зачастую оказывается соизмеримым (а для данного объекта автоматизации - даже большим) по сравнению со стоимостью новой асинхронной короткозамкнутой машины.

*Затраты на обеспечение требуемой степени защиты.*Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с высокой концентрацией угольной пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP54. Ввиду наличия коллекторного узла изготовление машины постоянного тока, имеющей высокую степень защиты, вызывает ее существенное удорожание и осложняет обслуживание. Иногда прибегают к созданию локальных условий с целью установки машины в более благоприятной окружающей среде, но это требует еще больших затрат.

Перечисленные предпосылки относятся только к электрическим машинам без учета преобразователей, с которыми они используются в электроприводе. Тиристорные преобразователи приводов постоянного тока на ныне действующих системах часто являются морально устаревшими и давно отработавшими свой ресурс. Это приводит не только к дополнительным затратам на поддержание их работоспособности и снижению надежности технологического процесса в целом, но также к невозможности включения этих устройств в состав современных систем управления без значительной доработки.

Соответственно, приведенные преимущества асинхронной машины не учитывают тот факт, что машина будет работать совместно с преобразователем частоты. Между тем, незнание ряда особенностей такой работы (по существу -

недостатков) может привести в лучшем случае к нерациональному использованию привода, а в худшем - к неправильному его выбору. Отметим те особенности, которые связаны с энергетическими показателями и которые надо учитывать для правильного выбора привода по мощности.

При работе асинхронных двигателей совместно с преобразователями частоты их КПД снижается в среднем на 2.. 3 %,  $\cos\varphi$  - на величину до 5%. Добавочные высокочастотные потери, вызванные несинусоидальностью напряжения, проявляются в дополнительном нагреве двигателя и снижении полезной мощности на его валу на величину до 25%.

Наличие добавочных потерь в обмотках и стали магнитопровода обусловлено высшими гармониками тока и магнитного потока. Поэтому при использовании асинхронных приводов с частотным регулированием принимают меры по улучшению гармонического состава тока (устанавливают дополнительные устройства, корректируют параметры настройки преобразователя и т.п.).

### **3.3 Особенности выбора частотно-регулируемого привода**

Выбор частотно-регулируемого привода имеет ряд особенностей. Укажем те из них, которые наиболее характерны для рассматриваемого типа объектов автоматизации.

Поскольку диапазон изменения скорости приводов невелик, то он может обеспечиваться достаточно простым и широко распространенным методом управления - вольт-частотным. Диапазон регулирования современных асинхронных электроприводов при вольт-частотном методе управления, как правило, составляет 1:40, что является вполне достаточным. Помимо того, вольт-частотное управление при соблюдении закона  $U/f = \text{const}$  обеспечивает постоянство критического момента, необходимое для

заданного типа нагрузки. Необходимо иметь в виду, что эффективность охлаждения асинхронного двигателя общего назначения с самовентиляцией (вентилятором, установленным на валу двигателя) зависит от скорости вращения вала: чем ниже скорость вращения, тем ниже эффективность охлаждения. Следовательно, продолжительная работа в нижней части диапазона скоростей с требуемым моментом может привести к недопустимому перегреву двигателя. Можно исключить такую ситуацию и обеспечить нормальную работу привода, если при выборе его мощности (как мощности двигателя, так и преобразователя) предусмотреть необходимый запас по моменту, то есть завысить расчетную мощность. Примечательно, что асинхронные двигатели допускают работу на частотах выше номинальной, при этом такие важные характеристики, как КПД и  $\cos\phi$ , претерпевают лишь незначительные изменения.

При выборе преобразователей частоты для электропривода ленточного конвейера следует обращать внимание на следующие, наиболее критичные для данного применения характеристики:

- высокая перегрузочная способность;
- хорошо организованная система защит и предупреждений;
- возможность настройки вольт-частотной характеристики.

Другие характеристики менее критичны, но полагается, что они должны соответствовать уровню современных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов.

### 3.4 Расчет ленточного конвейера

#### 3.4.1 Данные для расчёта ленточного конвейера

- часовая производительность,  $Q_{\text{ч}} = 600 \text{ т / ч}$
- насыпная плотность груза,  $\gamma = 0,85 \text{ т / м}^3$
- наибольший размер характерных кусков,  $a = 300 \text{ мм}$
- максимальная длина транспортирования,  $l = 234 \text{ м}$
- естественный угол откоса груза,  $\rho = 35 \text{ град}$
- угол наклона конвейера,  $\beta = 11 \text{ град}$
- скорость движения ленты,  $v_0 = 1,6 \text{ м / с}$ .

#### 3.4.2 Предварительный расчет конвейера

Согласно [ 4 ], необходимая ширина ленты

$$e = 1.1 \cdot \left( \sqrt{\frac{Q_{\text{ч}}}{K_n \cdot c \cdot v_0 \cdot \gamma}} + 0.05 \right)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  - необходимая часовая производительность конвейера;

$K_n$  - коэффициент производительности  $K_n = 560$  [ 1 , табл. 14.20];

$c$  - коэффициент снижения площади поперечного сечения насыпного груза на ленте  $c = 0,85$  [1, табл. 14.19];

$v_0$  - скорость движения ленты для предварительных расчетов;

$\gamma$  - насыпная плотность груза (принимается по данным для расчёта).

Полученная по приёмной способности ширина ленты должна быть проверена по кусковатости.

Необходимая по кусковатости ширина ленты для рядового материала:

$$B_k \geq 2a + 200,$$

где  $a$  - наибольший размер характерных кусков.

$$B_k > 2 \cdot 300 + 200 = 800 \text{ мм}.$$



Принимается стандартная ширина ленты  $B = 1200$  мм, согласно ГОСТ 22 644-77.

Уточняется скорость транспортирования:

$$V = \frac{Q}{K_n \cdot (0.9 \cdot B_k - 0.05)^2 \cdot \gamma \cdot c}$$

где  $B$  - принятая ширина ленты, м.

$$V = \frac{600}{560 \cdot (0.9 \cdot 1.2 - 0.05)^2 \cdot 0.85 \cdot 0.85} = 1.398 \text{ м/с}$$

Согласно ГОСТ 22 644-77 принимается стандартная скорость транспортирования полезного ископаемого  $V = 1,6$  м / с.

### 3.4.3 Тяговый расчет

Масса ленты на 1 м длины конвейера:

$$q_l = B \cdot m_l$$

где  $m_l$  - масса 1 м<sup>2</sup> ленты, кг (для ленты типа 2Ш-1200-4 ТК принимается  $m_l = 45$  кг/м<sup>2</sup> согласно [4, табл.6]).

$$q_l = 1.2 \cdot 45 = 54 \text{ кг/м}$$

Масса груза на 1м длины конвейера:

$$q_z = \frac{Q}{3.6 \cdot V}$$

$$q_z = \frac{600}{3.6 \cdot 1.6} = 104.2 \text{ кг/м}$$

Масса вращающихся частей роlikоопор нагруженной ветви:

$$q'_p = \frac{G'_p}{l'_p}$$

где  $G'_p$  - массы вращающихся частей роlikоопор нагруженной ветви ленты, принимается  $G'_p = 25$  кг, согласно [1, табл. 7.11];

$l'_p$  - расстояние между роlikоопорами нагруженной ветви ленты, принимается  $l'_p = 1.2$  м, согласно [1, табл. 7.12]

$$q'_p = \frac{25}{1.2} = 20.8 \text{ кг/м}$$

Масса вращающихся роlikоопор порожней ветви ленты:

$$q''_p = \frac{G''_p}{l''_p}$$

где  $G''_p$  - массы вращающихся частей роlikоопор порожней ветви ленты, принимается  $G''_p = 21.5$  кг, согласно [1, табл. 7.11];

$l''_p$  - расстояние между роlikоопорами нагруженной ветви ленты, принимается  $l''_p = 1.2$  м, согласно [1, табл. 7.12]

$$q''_p = \frac{21.5}{2.4} = 9 \text{ кг/м}$$

Сопротивление грузовой ветви ленточного конвейера определяется по формуле:

$$W_{zp} = l \cdot g \cdot \{[(q_z + q_l) \cos \beta + q'_p] \cdot w' + (q_z + q_l) \sin \beta\}$$

где  $\beta$  - угол установки конвейера;

$w'$  - коэффициент сопротивления движению верхней ветви ленты, принимается  $w' = 0.04$ , согласно [4, табл.4].

$$W_{zp} = 600 \cdot 9.81 \cdot \{[(72.9 + 37) \cos 11^\circ + 20.8] \cdot 0.04 + (72.9 + 37) \sin 11^\circ\} = 153200 \text{ Н}.$$

Сопротивление движению порожней ветви определяется по формуле:

$$W_n = l \cdot g \cdot [(q_l \cdot \cos \beta + q''_p) \cdot w'' - q_l \cdot \sin \beta],$$

где  $w''$  - коэффициент сопротивления движению нижней ветви ленты, принимается  $w'' = 0.035$ , согласно [4, табл.6].

$$W_n = 600 \cdot 9.81 \cdot [(37 \cdot \cos 11^\circ + 9) \cdot 0.035 - 37 \cdot \sin 11^\circ] = -32050 \text{ Н}$$

Сопротивление движению в месте очистного устройства:

$$W_{оч} = P_{с.о.} \cdot B,$$

где  $P_{с.о.}$  - удельное сопротивление очистки, принимается  $P_{с.о.} = 500$  Н / м, согласно [4].

$$W_{oc} = 500 \cdot 1,2 = 600H.$$

Сопротивление движению в месте загрузки конвейера:

$$W_{заг} = 0,1 \cdot q_z \cdot (g_0^2 - g_1^2) \cdot g + f \cdot h \cdot r \cdot g \cdot k_6 + k_9 \cdot l_6,$$

где  $f$ - коэффициент трения груза о стенки металлических бортов, принимается  $f=0,35$ ;

$h_6$  - высота борта, принимается  $h_6 = 1,5$  м согласно [4];

$k_6$  - коэффициент бокового трения, принимается  $k_6 = 0,8$ ;

$k_9$ - удельное сопротивление трению уплотнительных резиновых полос о ленту, принимается  $k_9 = 70$  Н / м;

$(g_0^2 - g_1^2) = 2,5$  - рекомендуется принимать согласно [4].

$$W_{заг} = 0,1 \cdot 104,2 \cdot 2,5 \cdot 9,81 + 0,35 \cdot 1,5^2 \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 0,8 + 70 \cdot 5 = 390H.$$

Принципиальная схема ленточного конвейера приведена на рисунке 9.

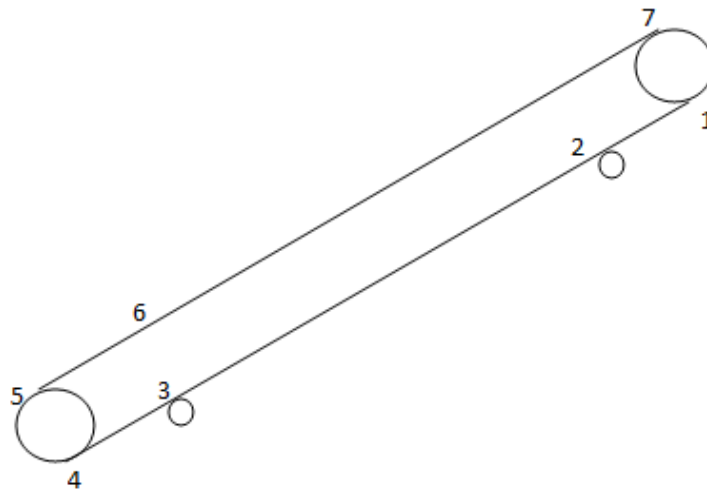


Рисунок 9 - Принципиальная схема ленточного конвейера

Определяется натяжение ленты в каждой точке контура по формулам:

Натяжение в точке 2:

$$S_2 = S_1 \cdot W_{нов} = S_1 + S_{наб} (k_n - 1) = S_1 + S_1 (1,03 - 1) = 1,03 \cdot S_1$$

Сопротивление на участке 2-3:

$$W_{2-3} = q_k \cdot L_{2-3} (w \cdot \cos 12^\circ - \sin 12^\circ) = 63 \cdot 234 (0,04 \cdot \cos 12^\circ - \sin 12^\circ) = 2223H$$

Натяжение в т. 3:

$$S_3 = S_2 \cdot W_{2-3} = 1.03 \cdot S_1 \cdot W_{2-3}$$

Натяжение в т. 4:

$$S_4 = S_3 \cdot W_{нов} = 1.03 \cdot S_3$$

Натяжение в т. 5:

$$S_5 = S_4 \cdot W_{нов} = 1.03 \cdot S_4$$

Сопротивление на погрузочном органе:

$$W_{погр} = \frac{Q \cdot V}{3.6} = \frac{600 \cdot 1.6}{3.6} = 266H.$$

Сопротивление от направляющих бортов загрузочного лотка:

$$W_{л} = 50 \cdot l = 50 \cdot 2 = 100H.$$

Сопротивление на участке 5-6:

$$W_{5-6} = W_{погр} + W_{л} = 266 + 100 = 276H.$$

Натяжение в т. 6:

$$S_6 = S_5 \cdot W_{5-6} = 1.113 \cdot S_1 \cdot W_{5-6}$$

Сопротивление на участке 6-7:

$$W_{6-7} = (q + q_k) \cdot (L_z \cdot \omega + H) = (104,16 + 63) \cdot (0,04 \cdot 231,4 + 48,7) = 58233H.$$

Натяжение в т. 7:

$$S_7 = S_6 \cdot W_{6-7} = 1.113 \cdot S_1 \cdot W_{5-6}$$

Подставив это соотношение в полученное выше выражение

$$S_1 = 22766,3$$

$$S_2 = 1,03 \cdot 22766,3 = 23450$$

$$S_3 = 23450 + 2223 = 25670$$

$$S_4 = 1,03 \cdot 25670 = 26440$$

$$S_5 = 1,03 \cdot 26440 = 27230$$

$$S_6 = 1,113 \cdot 22766,3 + 2766 = 28100$$

$$S_7 = 28100 + 58233 = 86330$$

$$W_0 = S_7 - S_1 = 63810 H.$$

Мощность на приводном валу конвейера:

$$P_0 = \frac{W_0 \cdot g}{1020 \cdot \eta_{\text{бар}}} = \frac{63810 \cdot 1,6}{1020 \cdot 0,91} = 110 \text{ кВт}$$

Мощность двигателя для привода конвейера:

$$P = \frac{k \cdot N_0}{\eta} = \frac{1,1 \cdot 110}{0,96} = 126 \text{ кВт}$$

Выбираю двигатель ВАО2-280S4, паспортные данные которого сведены в таблице 1

Таблица 1 - Паспортные данные электродвигателя ВАО2-280S4 [10]

Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{II}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{II}}{I_{ном}}$
			S,%	η,%	cosφ				
132	1500	3.1	2	93.9	0.88	2	2.6	1	6.5

### 3.5 Выбор аппаратов контроля, защиты и сигнализации

#### 3.5.1 Контроль скорости движения ленточного полотна конвейеров

Для контроля скорости движения ленточного полотна конвейера используется устройство контроля скорости «УКС» производства Днепропетровского завода шахтной автоматики. Устройство контроля скорости предназначено для контроля скорости ленты ленточного конвейера либо для контроля движения цепи одноцепного скребкового конвейера. [19]

Устройство выпускается в двух модификациях:

- УКС-1 - для контроля скорости ленты ленточного конвейера в пределах номинальных скоростей от 0,6 до 5,0 м/с, состоит из аппарата контроля скорости КС и датчика бесконтактного контроля вращения БКВ;
- УКС-2 - для контроля скорости движения цепи одноцепного скребкового конвейера в пределах номинальных скоростей от 0,4 до 1,6 м/с, состоит из аппарата КС и магнитоиндукционного датчика ДМ-3.

Устройство УКС-2 может быть применено для контроля работы механизмов, имеющих движущиеся металлические узлы с воздушными зазорами, например: грохотов, качающихся питателей и т. д. Выбор вида исполнения устройства контроля скорости (УКС-1 или УКС-2) зависит от типа конвейера (скребковый или ленточный) и от скорости движения ленточного полотна. Конвейер, контроль скорости которого необходимо осуществлять является ленточным конвейером. Скорость движения ленточного полотна составляет 1,6 м/с. Выбираем модификацию УКС-1.

Аппарат КС устанавливается вне взрывобезопасного помещения и предназначен для работы в условиях умеренного и холодного климата.

Основные технические характеристики аппарата КС приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные технические характеристики аппарата КС[19]

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение питания, В	220, 380
Потребляемая мощность, В·А, не более	10
Количество контактов выходного реле, шт	2н.з. + 1н.о.
Количество контактов реле аварийного отключения, шт	1 н.з.
Чувствительность, В, не менее	2
Контролируемая величина снижения скорости ленты, %	25
Степень защиты	IP30
Уровень взрывозащиты цепи подсоединения датчика	Иа

Датчик бесконтактного контроля вращения БКВ предназначен для выработки сигнала, используемого для контроля скорости ленты ленточного конвейера в устройствах УКПС и УКС. Датчик предназначен для работы на поверхности и в шахтах, опасных по газу или пыли, в условиях умеренного и холодного климата.

Основные технические характеристики датчика БКВ приведены в таблице 3.

Таблица 3 Основные технические характеристики датчика БКВ

Наименование параметра	Значение параметра
Амплитуда напряжения, вырабатываемого датчиком при частоте 15 Гц и нагрузке 1 кОм, В, не менее	2
Масса, кг, не более	10
Наработка на отказ, ч, не менее	10000
Срок службы, лет, не менее	5

### 3.5.2 Контроль схода и обрыва ленты

Для контроля схода ленты в шахтах на территории России обычно используют датчик контроля схода ленты КСЛ-2 Днепропетровского завода шахтной автоматики. Датчик КСЛ-2 предназначен для контроля аварийного схода в сторону конвейерной ленты и выдачи сигнала (путем замыкания или размыкания своего контакта) в систему дистанционного или автоматизированного управления. Датчик может применяться на всех ленточных конвейерах, работающих в шахтах, опасных по газу или пыли, а также на поверхности шахт в закрытых помещениях. [20]

Датчик состоит из корпуса, гибкого привода и исполнительного устройства. Принцип работы датчика основан на преобразовании механического перемещения свободного конца гибкого привода в выходной сигнал с помощью магнитоуправляемого контакта, коммутирующего электрическую цепь внешнего источника. Количество контактов - один, перестраиваемый на замыкание или размыкание.

### 3.5.3 Контроль экстренного останова

Для контроля экстренного останова конвейера и как следствие, всей технологической цепочки, используется выключатель кабель тросовый КТВ-2М Новомосковского завода шахтной автоматики. За долгие годы эксплуатации выключатель КТВ-2М зарекомендовал себя как надежное устройство, способное длительно выполнять возложенные на него функции. Выключатель кабель - тросовый КТВ-2М предназначен для экстренного прекращения пуска и экстренной остановки конвейерных приводов грузоподъемных и транспортных канатных дорог из любого места технологической линии в шахтах, в том числе опасных по газу и пыли.

Выключатели кабель - тросовые КТВ-2М могут быть включены в схемы аппаратуры автоматического управления конвейерами в соответствии с паспортами этой аппаратуры. Выключатель работает в режиме дистанционного управления без фиксации и с фиксацией отключенного положения, и местного управления с фиксацией отключенного положения. [21]

Основные технические характеристики выключателя КТВ-2М приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Основные технические характеристики выключателя КТВ-2М

Наименование параметра	Значение параметра
Количество разрываемых цепей	1
Коммутируемое напряжение, В	30
Максимальная коммутируемая мощность, В·А	6
Ход штока выключателя, мм	15



### 3.5.4 Контроль заштыбовки

Для контроля места перегрузки угля от его завала применяется датчик Turck BC20, установленный в разгрузочный желоб места перегрузки.

### 3.5.5 Сигнализатор звуковой СЗВ

Для предупредительной сигнализации запуска ленточного конвейера в работу используется сигнализатор звуковой взрывобезопасный СЗВ. Сигнализатор СЗВ предназначен для подачи звуковых сигналов в устройства автоматизации конвейерных линий. Сигнализатор рассчитан для работы в рудниках и шахтах, в том числе опасных по газу или пыли.

Основные технические характеристики сигнализатора СЗВ приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Основные технические характеристики сигнализатора СЗВ

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питания, В	36
Потребляемая мощность, В·А, не более	10
Уровень звукового давления, дБ, не менее	96
Режим работы	Повторно - кратковременный

### 3.5.6 Выбор преобразователя частоты

Преобразователи частоты (ПЧ) для электроприводов преобразуют переменное напряжение питающей сети в переменное трехфазное напряжение с регулируемой частотой, напряжением и током. В настоящее время ПЧ в большинстве случаев выполняется на базе полностью управляемых силовых полупроводниковых ключей: силовых транзисторов, запираемых тиристоров, которые можно как открыть, так и закрыть сигналами, подаваемыми на их управляющие входы.

На рисунке 10 представлена функциональная схема электропривода переменного тока с асинхронным двигателем (АД). Напряжение питающей сети поступает на преобразователь частоты (ПЧ), и далее - подаётся на статорные обмотки АД. Микропроцессорная система управления формирует на выходе ПЧ трёхфазное напряжение требуемой частоты и амплитуды, в зависимости от применяемого закона управления АД.

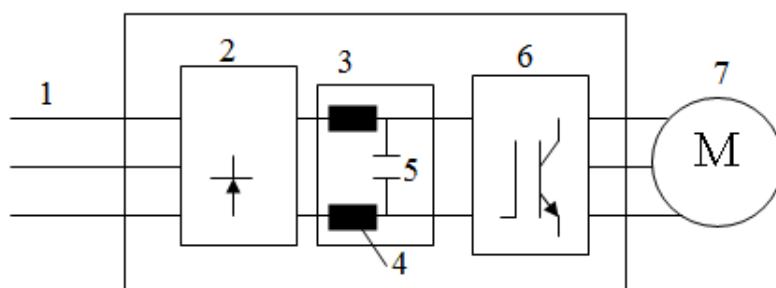


Рисунок 10 - Функциональная схема электропривода по системе преобразователь частоты - асинхронный двигатель [ 1 1 ]

На функциональной схеме приведены следующие обозначения: 1 трехфазное напряжение питания; 2 мостовой выпрямитель; 3 промежуточная цепь; 4 катушка промежуточной цепи (выравнивают напряжение промежуточной цепи и уменьшают обратную связь по синусоидальному току к питанию сети от сети переменного тока); 5 конденсатор промежуточной цепи (выравнивает напряжение промежуточной цепи); 6 инвертор (преобразует постоянный ток в регулируемый переменный ток с переменной частотой); 7 электродвигатель.

Функции управления ПЧ выполняет микроконтроллер, по своим параметрам и архитектуре идентичный с 8xC196МН. Функциональная схема микропроцессорной системы управления показана на рисунке 11.

Система управления преобразователем обеспечивает следующие функции:

- прямое цифровое управление, всеми элементами преобразователя, включая управление силовыми ключами инвертора в режиме ШИМ-модуляции на несущей частоте до 15 кГц;
- сопряжение с внутренними и внешними датчиками аналоговых сигналов в любом удобном для пользователя стандарте (0... 10 В,  $\pm 10$  В, 4...20 мА, внешний резистор 2 кОм);
- сопряжение с внешней коммутационной аппаратурой рабочих станций и станций группового управления двигателями, с дискретными датчиками технологических переменных через порты ввода/вывода дискретных сигналов, в том числе гальванически развязанные;
- оперативное наблюдение за параметрами привода и технологическими переменными с помощью встроенного пульта управления с отображением текстовой информации на дисплее;
- оперативное управление преобразователем со встроенного пульта, от кнопочной станции, от внешнего контроллера через один из портов дискретных входов или по последовательному каналу линии RS-485.
- просмотр и модификация текущей установленной конфигурации системы управления, а также параметров привода и технологического процесса с пульта управления, с портативного компьютера по интерфейсу RS-232 в реальном времени, с удалённого компьютера или контроллера по интерфейсу RS-485 в реальном времени;
- автоматическое сохранение текущей конфигурации системы управления и заданных параметров в энергонезависимой памяти, возможность быстрого восстановления заводских уставок;
- мониторинг питания, возможность самозапуска привода после восстановления напряжения питания;
- мониторинг всех аварийных ситуаций в приводе с записью кода идентифицированных аварий, а также даты и времени аварии в

энергонезависимую память, просмотр листинга аварийных ситуаций с пульта управления или с компьютера по последовательному каналу связи.

Выходы модуляторов ШИМ микропроцессорной системы через микросхемы драйверов IGBT подключаются к силовым ключам инвертора. Драйверы выполняют функции согласования между транзисторами IGBT и управляющими цепями микропроцессорной системы. Кроме того, данные устройства реализуют защитные функции, снимая управляющие импульсы с силовых ключей при пропадании питающего напряжения и перегрузках по току.

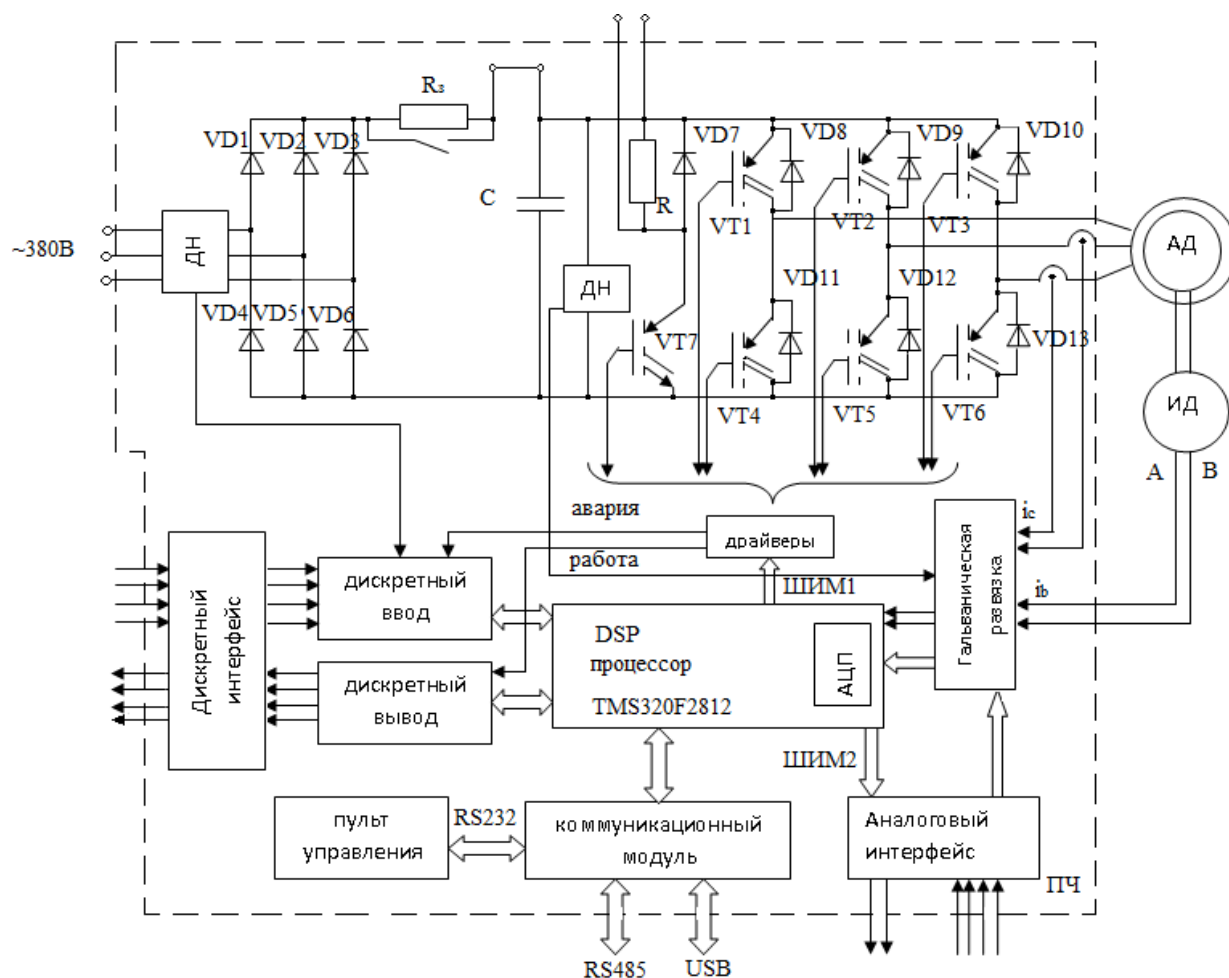


Рисунок 11- Функциональная схема преобразователя частоты

Однако сохранились ПЧ на полупроводниковых ключевых элементах, которые открываются по цепи управления, а закрываются либо в моменты

окончания протекания в них силового тока, либо путем подачи в силовую цепь вен тили отрицательного импульса тока от узлов коммутации.

Для двигателя ВАО2 - 280S4 выбран преобразователь частоты ACS800-02-0210-3 фирмы «АВВ» со следующими паспортными данными приведенными в таблице 6.

Таблица 6 - Паспортные данные преобразователя частоты ACS800-02-0210-

3

Номинальные характеристики		Работа без перегрузки	Работа с небольшой перегрузкой		Работа в тяжелом режиме		Уровень шума	Рассеиваемая мощность
$I_{cont.max}$ , А	$I_{max}$ , А	$P_{cont.max}$ , кВт	$I_n$ , А	$P_n$ , кВт	$I_{hd}$ , А	$P_{hd}$ , кВт	дБА	Вт
$U_n=400V$ (диапазон 380-415В) Значения номинальной мощности действительны при номинальном напряжении 400В.								
289	432	160	284	160	240*	132	71	4300

Примечание: \* - Если  $T_{amb} < 25\text{ }^{\circ}C$ , то допускается перегрузка, равная 50 %. Если  $T_{amb} = 40\text{ }^{\circ}C$ , то максимально допустимая перегрузка составляет 37 %.

### 3.6 Расчет и построение по каталожным данным электродвигателя электромеханических и механических характеристик

#### 3.6.1 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 12. [9]

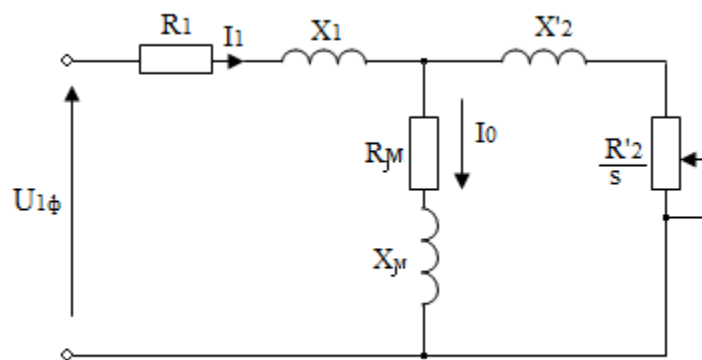


Рисунок 12 - Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned}U_{1\phi} - E_1 - j \cdot X_1 \cdot I_1 &= 0; \\E_1 + j \cdot X_2 \cdot I_2 + R_2 \cdot I_2 / s &= 0; \\I_1 + I_2 - I_0 &= 0.\end{aligned}$$

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным:

$P_n = 132$  кВт.-номинальная мощность двигателя;

$U_H = 220 \text{ В}$ , - номинальное фазное напряжение;

$n_H = 1500 \text{ об/мин}$  - номинальная частота вращения;  $n$

$s_H = 0,2\%$  - номинальное скольжение;

$\eta_H = 93,9\%$  - коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности (100%-я нагрузка);

$\cos\varphi_H = 0,88$  - коэффициент мощности в режиме номинальной мощности;

$k_i = \frac{I_{II}}{I_H} = 6,5 \text{ o.e.}$   
- кратность пускового тока;

$k_{II} = \frac{M_{II}}{M_H} = 2 \text{ o.e.}$   
- кратность пускового момента;

$k_{\max} = \frac{M_K}{M_H} = 2,6 \text{ o.e.}$   
- кратность максимального момента;

$k_{\min} = \frac{M_{\min}}{M_H} = 1 \text{ o.e.}$   
- кратность минимального момента.

Эти данные позволяют определить параметры схемы замещения при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют  $0,02P_H$ ;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[ \frac{p_* \cdot I_{1H} (1 - s_H)}{1 - p_* s_H} \right]^2}{1 - \left[ \frac{p_* (1 - s_H)}{1 - p_* s_H} \right]^2}}$$
$$I_0 = \sqrt{\frac{183,361^2 - \left[ \frac{0,75 \cdot 242,037 \cdot (1 - 0,02)}{1 - 0,75 \cdot 0,02} \right]^2}{1 - \left[ \frac{0,75 \cdot (1 - 0,02)}{1 - 0,75 \cdot 0,02} \right]^2}} = 47,566 \text{ А}$$

где  $I_{1H}$  - номинальный ток статора двигателя;

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{132000}{3 \cdot 220 \cdot 0.88 \cdot 0.939} = 242.037 \text{ A}$$

$I_{1H}$  - ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0.75 \cdot 132000}{3 \cdot 220 \cdot 0.88 \cdot 0.939} = 183.361 \text{ A}$$

$\cos \varphi_{p_*}$  - коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$\eta_{p_*}$  - КПД при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_H$  - коэффициент нагрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

- современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 10-15% меньшей номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке  $p_* = 0,75$  равны между собой, т.е.  $\eta_H = \eta_{0,75} = 93,8\%$ ;

- коэффициент мощности при той же нагрузке  $p_* = 0,75$  значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведенной на рисунке 13.



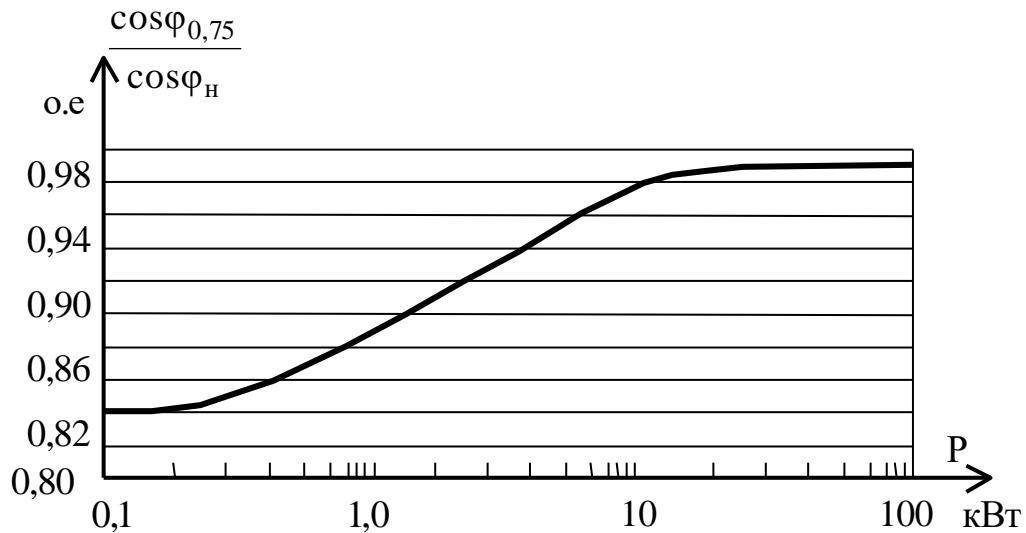


Рисунок 13 - Зависимость  $\cos\varphi_{0.75}/\cos\varphi_n$  от мощности асинхронного двигателя

Согласно зависимости, приведенной на рисунке 20, для мощности двигателя  $P = 132000$  Вт отношение  $\cos\varphi_{0.75}/\cos\varphi_n=0.98$ , следовательно, коэффициент мощности при частичной нагрузке составит  $\cos\varphi_{p^*} = 0.98 \cdot \cos\varphi_n = 0.861$ .

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения:

$$s_k = s_n \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta(k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta(k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0.027 \cdot \frac{2.6 + \sqrt{2.6^2 - [1 - 2 \cdot 0.02 \cdot 1 \cdot (2.6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.02 \cdot 1 \cdot (2.6 - 1)} = 0.107$$

где  $c_1 = 1 + \left( \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} \right) = 1 + \left( \frac{45.764}{2 \cdot 6 \cdot 242.037} \right) = 1.015$ .

Значение коэффициента  $\beta$  находится в диапазоне 0,6 - 2,5, поэтому в первом приближении принимаем  $\beta=1$ . Определим коэффициент  $A_1$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 (1 - s_n)}{(2 \cdot c_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0.02)}{(2 \cdot 1.015 \cdot 2.6 \cdot 132000)} = 0.204$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_k)} c_1 = 0.204 / (1 + 1/0.107) \cdot 1.015 = 0.019 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = c_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.015 \cdot 0.019 \cdot 1 = 0.02 \text{ Ом}.$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{KH}$ :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2}\right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.107^2}\right) - 1} = 9.281,$$

тогда  $X_{KH} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2' = 9.281 \cdot 1.015 \cdot 0.02 = 0.183 \text{ Ом}.$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления  $X_{KH}$  сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной, рассчитаем по следующему выражению

$$X_{KH}' = 0.58 \cdot X_{KH} / c_1 = 0.58 \cdot 0.183 / 1.015 = 0.105 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки определим по следующему выражению

$$X_{1H} = 0.42 \cdot X_{KH} = 0.42 \cdot 0.183 = 0.077 \text{ Ом}.$$

По найденным значениям  $C_1 R_2'$ ,  $R_1$  и  $X_k$  определим критическое скольжение

$$s_k = \frac{c_1 \cdot R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1.015 \cdot 0.019}{\pm \sqrt{0.02^2 + 0.183^2}} = \pm 0.107.$$

Данное значение критического скольжения совпадает со значением, посчитанным ранее с абсолютной погрешностью меньше 0,01.

Согласно векторной диаграмме (рисунок 3) э.д.с. ветви намагничивания наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$E_1 = \sqrt{(U_{1j} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1j} \cdot \sin \varphi_{1H} + X_1 \cdot I_{1H})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0.88 - 0.02 \cdot 242.037)^2 + (220 \cdot \sin(a \cos(0.88)) + 0.077 \cdot 242.037)^2} = 207.418B,$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu H} = E_1 / I_0 = 207.418 / 47.566 = 4.361 \text{ Ом}.$$

Используя параметры схемы замещения можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик.

### 3.6.2 Расчет и построение электромеханических характеристик

Электромеханическая характеристика, определяющая зависимость приведенного тока ротора от скольжения  $s$

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2} + \left(\frac{R_1 R_2'}{s X_{\mu H} f_{1*}}\right)} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0.002 + \frac{0.019}{s}\right)^2 + 0.183^2 \cdot 1} + \left(\frac{0.02 \cdot 0.019}{s \cdot 4.361 \cdot 1}\right)^2}$$

где  $U_{1j}=220B$ - фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$f_{1*}=f_{1j}/f_{1H}=1$  - относительное значение частоты питающего напряжения.

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя представляет интерес электромеханическая характеристика  $I_1 = f(\omega)$ , отражающая зависимость тока статора  $I_1$  от скорости  $\omega$  (скольжения  $s$ ). Ток статора  $I_1$ , определяется путем сложения вектора тока намагничивания  $I_0$  и вектора тока ротора  $I_2$  (рисунок 3). Обычно это производится с помощью круговой диаграммы.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя  $I_0$  реактивным ( $I_{0A}=0$ ), ток статора  $I_1$  через приведенный ток ротора  $I_2'$  можно найти по формуле

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = \sqrt{47.566^2 + I_2'^2 + 2 \cdot 47.566 \cdot I_2' \cdot 0.673},$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_{KH} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{0.218 \cdot 1}{\sqrt{\left(0.02 + \frac{0.019}{s}\right)^2 + 0.182^2}}.$$

где

Вид электромеханических характеристик представлен на рисунке 14.

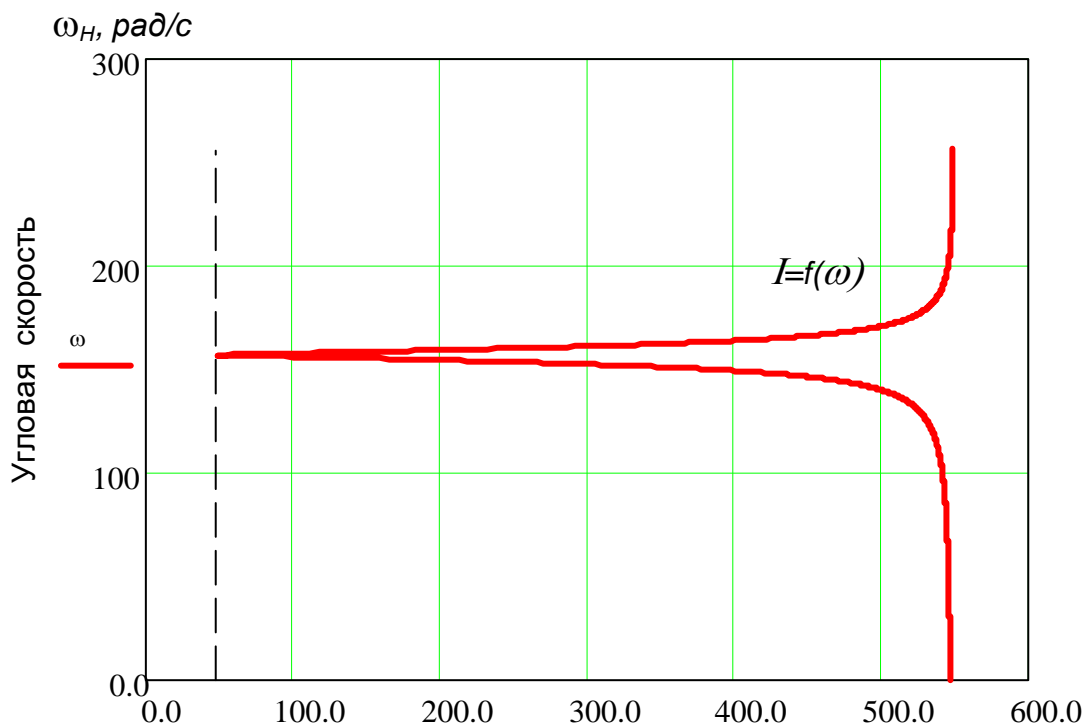


Рисунок 14 – Электромеханическая характеристика  $I_1=f(\omega)$  асинхронного двигателя

### 3.6.3 Расчет построение механической характеристики

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется следующим выражением

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s_j \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_j \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.014}{104.72 \cdot s_j \cdot \left[ 0.218^2 + \left( 0.014 + \frac{0.014}{s_j} \right)^2 + \left( \frac{0.014 \cdot 0.014}{s_j \cdot 4.518 \cdot 1} \right)^2 \right]}$$

Вид механической характеристики приведен на рисунке 15.

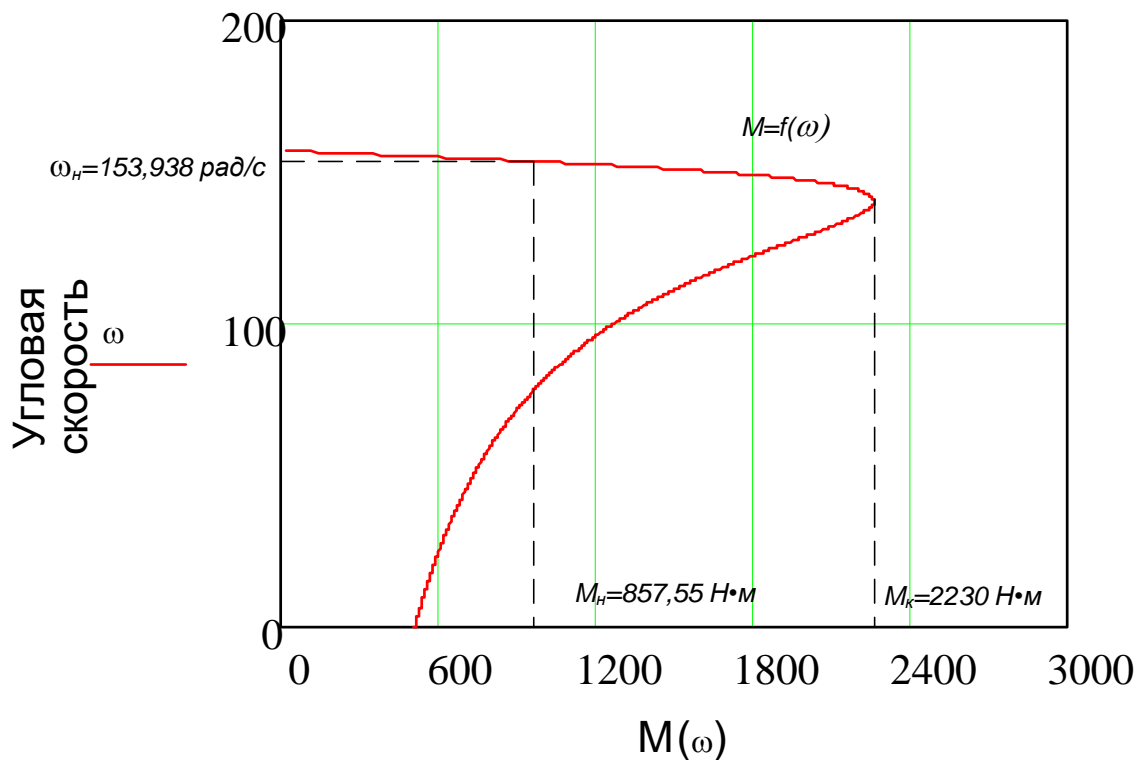


Рисунок 15 – Механическая характеристика  $M=f(\omega)$  асинхронного двигателя

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = 9.55 \cdot \frac{P_H}{n_0(1-s_H)} = 9.55 \cdot \frac{132000}{1500(1-0.02)} = 857.55 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Проверка двигателя на нагрев не требуется, так как нагрузка двигателя меньше номинальной и режим работы продолжительный.

### 3.6.4 Расчет и построение искусственных механических и электромеханических характеристик

Рассчитаем и построим механическую и электромеханическую характеристики при питании двигателя от статического преобразователя частоты

при следующих законах управления  $\frac{U}{f} = const, \frac{E}{f} = const.$

Синхронная частота вращения

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.1415 \cdot 1500}{30} = 157.075 \text{ рад/с}$$

Закон управления  $\frac{U}{f} = const$

При  $f=50\text{Гц}$ :

$$f_{1*} = \frac{f}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1 \text{Гц}.$$

Относительная частота

Регулируемая синхронная скорость  $\omega_{0j} = \omega_0 \cdot f_{1*} = 157.075 \cdot 1 = 157.075 \text{ рад/с}$ .

Регулируемое напряжение  $U_{1j} = U_\phi \cdot f_{1*} = 220 \cdot 1 = 220 \text{В}.$

Ток короткого замыкания

$$I'_{2K3} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left[ (R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right] \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right)}} = 1015 \text{А}.$$

Для частот  $f=25; 10; 5 \text{ Гц}$  расчеты аналогичны, результаты сведем в таблицу 7.

Таблица 7

	50	25	10	5
$f_{1*}, \text{Гц}$	1	0,5	0,2	0,1
$\omega_{0j}, \text{рад/с}$	157,08	78,54	31,416	15,708
$U_{1j}, \text{В}$	220	110	44	22
$I_{2\text{кз}}, \text{А}$	1182	1111	824,564	510,644

$$s_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}.$$

Относительное скольжение

Уравнение электромеханической характеристики имеет вид:

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1j}}{\sqrt{(X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_j}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_j X_\mu \cdot f_{1*}}\right)^2}}.$$

Строим электромеханические характеристики, которые изображены на рисунке 16.

Критический момент

$$M_{\text{кр}} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[ R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2} \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2}\right) \right]} = 302 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критическое скольжение

$$S_{\text{кр}} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2}\right)^2 + 1}{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2}} = 0.104.$$

При  $f=50 \text{ Гц}$      $M_{\text{кр}}=2276 \text{ Н} \cdot \text{м}$      $S_{\text{кр}}=0,104$

При  $f=25 \text{ Гц}$      $M_{\text{кр}}=2042 \text{ Н} \cdot \text{м}$      $S_{\text{кр}}=0,204$

При  $f=10 \text{ Гц}$      $M_{\text{кр}}=1502 \text{ Н} \cdot \text{м}$      $S_{\text{кр}}=0,457$

При  $f=5$  Гц  $M_{кр}=981,912$  Н·м  $S_{кр}=0,703$

Механические характеристики рассчитываются по выражению:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

Строим механические характеристики, которые изображены на рисунке 17.

**Закон управления**  $\frac{E}{f} = const$

Третий класс законов регулирования в ЭП переменного тока получил широкое применение. Однако, при регулировании скорости при помощи данного закона, необходимо повышать фазное напряжение на двигателе на величину, определенную уравнением  $U_{1j}=E_{1j}+I_1 \cdot R_1$ , то есть на величину падения напряжения  $R_1$ .

Данный способ регулирования получил название частотного регулирования скорости с IR-компенсацией. Сравним механические и электромеханические характеристики асинхронного двигателя при законе регулирования скорости  $\frac{U}{f} = const, \frac{E}{f} = const$ . при полной ( $K_M=1$ ) и при частичной ( $K_M=0,5$ ) IR-компенсациях.

При  $f=50$  Гц:

Относительная частота  $f_{1*} = \frac{f}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1$ Гц.

Регулируемая синхронная скорость  $\omega_{0j} = \omega_0 \cdot f_{1*} = 157.08 \cdot 1 = 157.08 \text{ рад/с}$ .

Регулируемая ЭДС  $E_{1j} = E_1 \cdot f_{1*} = 207.418 \cdot 1 = 207.418 \text{ В}$ .

$R_{1\text{экв}} = R_1 \cdot (1-K_M)$  – эквивалентное сопротивление обмотки статора



$$\underline{1.K\mu = 0.5}$$

Ток короткого замыкания

$$I'_{2K3} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left[ (R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right] \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu}^2 \cdot f_{1*}^2} \right)}} = 1018 \text{ A.}$$

Для частот  $f$  — 25, 10, 5 Гц расчеты аналогичны, результаты сведем в таблицу 8.

Таблица 8

	50	25	10	5
$f_{1*}, \text{Гц}$	1	0,5	0,2	0,1
$\omega_{0j}, \text{рад/с}$	157,08	78,54	31,416	15,708
$E_{1j}, \text{В}$	207,418	103,709	41,483	20,74
$I_{2K3}, \text{А}$	1194	1152	945,364	642,392

Относительное скольжение  $s_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}.$

Уравнение электромеханической характеристики имеет вид:

$$I'_2(\omega) = \frac{U_{1j}}{\sqrt{\left( X_1 + X_2' \right)^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_j X_{\mu} \cdot f_{1*}} \right)^2}}.$$

Строим электромеханические характеристики, которые изображены на рисунке 16.

Критический момент

$$M_{kp} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[ R_1 + \sqrt{\left( R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right) \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu}^2 \cdot f_{1*}^2} \right)} \right]} = 2404 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критическое скольжение

$$S_{кр} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R_1^2}{X_{\mu} \cdot f_{1*}^2}\right)^2 + 1}{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2}} = 0.104.$$

При  $f=50$  Гц       $M_{кр}=2404$  Н·м       $S_{кр}=0,104$

При  $f=25$  Гц       $M_{кр}=2276$  Н·м       $S_{кр}=0,208$

При  $f=10$  Гц       $M_{кр}=1936$  Н·м       $S_{кр}=0,503$

При  $f=5$  Гц       $M_{кр}=1502$  Н·м       $S_{кр}=0,915$

Механические характеристики рассчитываются по выражению:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

Строим механические характеристики, которые изображены на рисунке 17.

### **1.Км = 1**

Ток короткого замыкания

$$I_{2КЗ}' = \frac{E_{1j} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left[ (R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right] \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu}^2 \cdot f_{1*}^2} \right)}} = 1202A.$$

Для частот  $f$  — 25, 10, 5 Гц расчеты аналогичны, результаты сведем в таблицу 9.

Таблица 9

	50	25	10	5
$f_{I*}, \text{Гц}$	1	0,5	0,2	0,1
$\omega_{0j}, \text{рад/с}$	157,08	78,54	31,416	15,708
$E_{1j}, \text{В}$	207,418	103,709	41,483	20,74
$I_{2кз}, \text{А}$	1202	1183	1072	836,17

$$s_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}.$$

Относительное скольжение

Уравнение электромеханической характеристики имеет вид:

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1j}}{\sqrt{(X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_j(\omega)}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_j(\omega) \cdot X_\mu \cdot f_{1*}}\right)^2}}.$$

Строим электромеханические характеристики, которые изображены на рисунке 16.

Критический момент

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[ R_1 + \sqrt{\left( R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2 \right) \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right)} \right]} = 2539 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критическое скольжение

$$S_{кр} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\left( \frac{R_1^2}{X_\mu^2 \cdot f_{1*}^2} \right)^2 + 1}{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2 \cdot f_{1*}^2}} = 0.104.$$

При  $f=50 \text{ Гц}$      $M_{кр}=2539 \text{ Н} \cdot \text{м}$      $S_{кр}=0,104$

При  $f=25 \text{ Гц}$      $M_{кр}=2539 \text{ Н} \cdot \text{м}$      $S_{кр}=0,209$

При  $f=10 \text{ Гц}$      $M_{кр}=2539 \text{ Н} \cdot \text{м}$      $S_{кр}=0,522$

При  $f=5 \text{ Гц}$      $M_{кр}=2539 \text{ Н} \cdot \text{м}$      $S_{кр}=1,044$

Механические характеристики рассчитываются по выражению:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

Строим механические характеристики, которые изображены на рисунке 17.

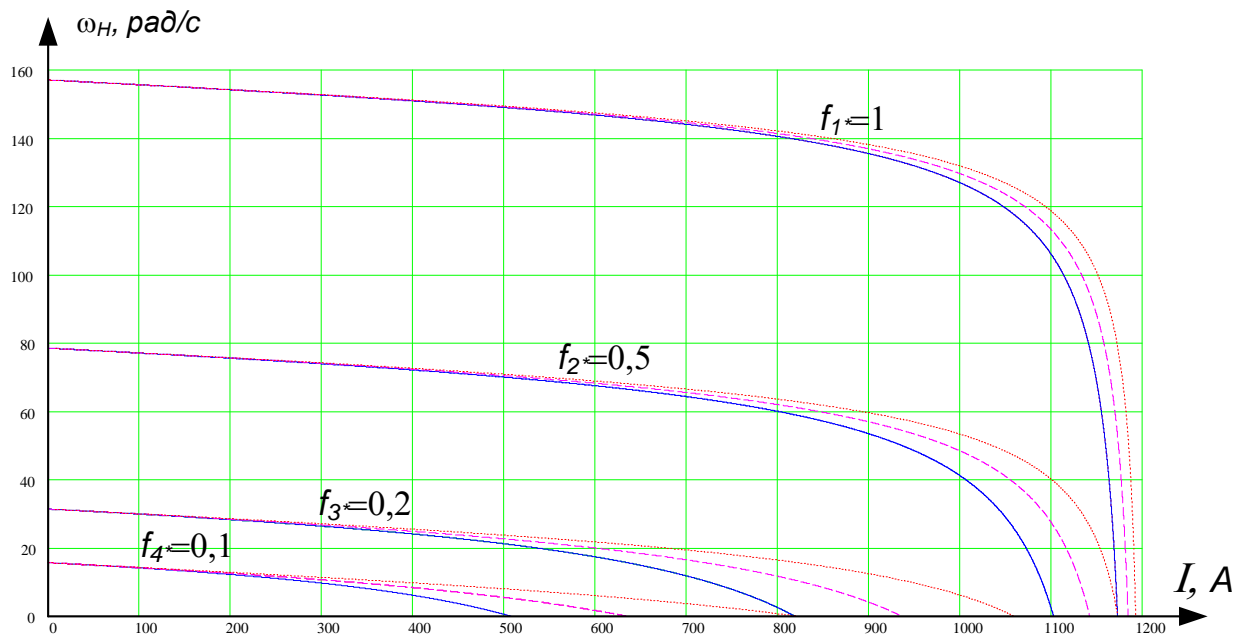


Рисунок 16 - Электромеханические характеристики асинхронного двигателя:

- - при законе управления  $\frac{U}{f} = \text{const}$
- - - - при законе управления  $\frac{E}{f} = \text{const}$  и при  $K_M = 0.5$
- - при законе управления  $\frac{E}{f} = \text{const}$  и при  $K_M = 1$ .

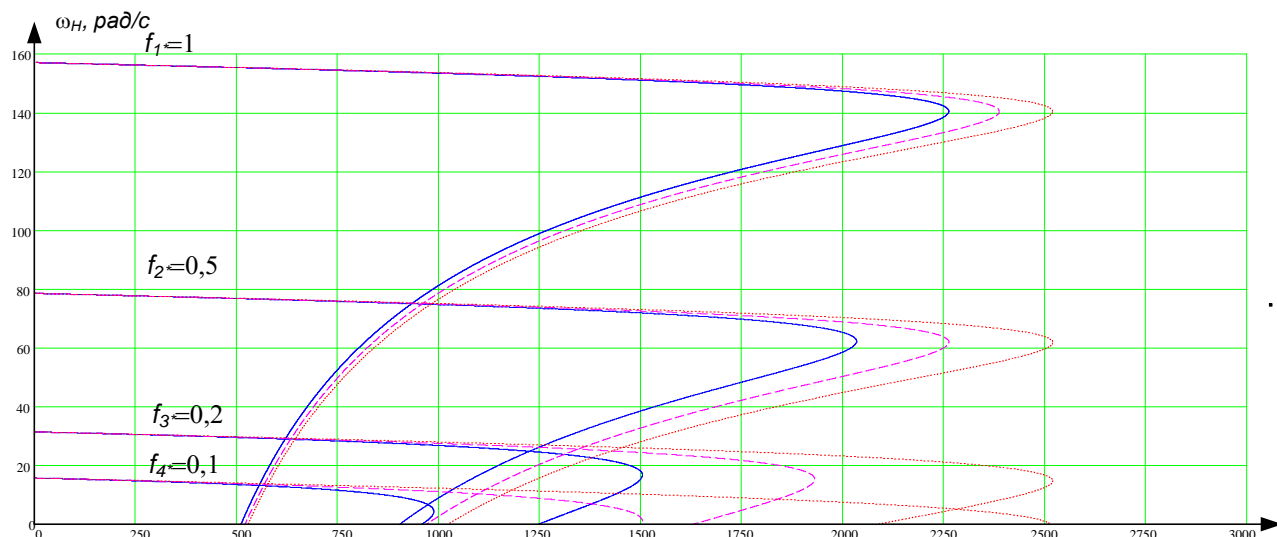


Рисунок 17 -Механические характеристики асинхронного двигателя.

- - при законе управления  $\frac{U}{f} = const$   
- - - - при законе управления  $\frac{E}{f} = const$  и при  $K_M = 0.5$   
— - при законе управления  $\frac{E}{f} = const$  и при  $K_M = 1$ .

При законе регулирования частоты  $\frac{U}{f} = const$  критический момент уменьшается с уменьшением частоты, так как учитывается влияние активного сопротивления статора  $R_1$ , что приводит к снижению потока  $\Phi_1$ , а соответственно к уменьшению критического момента. При снижении частоты, критическое скольжение увеличивается (критическое скольжение обратно пропорционально частоте питающей сети). В электромеханических характеристиках также влияние сопротивления статора  $R_1$  приводит к тому, что при низких частотах ток короткого замыкания  $I_2'$  уменьшается.

При законе управления  $\frac{E}{f} = const$ , при неполной IR-компенсации, механические и электромеханические характеристики ведут себя точно также, как и при законе регулирования  $U/f$ , однако из-за меньшего влияния

активного сопротивления характеристики более приемлемы для устойчивой работы на заданных скоростях.

Естественно, что наиболее лучшие характеристики можно получить при

законе регулирования  $\frac{E}{f} = const$ , при  $K_M = 1$ .

## **4 МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ**

### **4.1 Математическая модель асинхронного двигателя**

Математическая модель асинхронного электродвигателя с одной стороны должна быть простой и иметь как можно меньший порядок, а с другой стороны должна для решения задачи управления описывать процессы в реальном двигателе с достаточной для практики точностью. В силу этих двух взаимно противоречивых требований при построении математической модели АД следует принять ряд допущений, позволяющих получить наименьший порядок модели, но не приводящих при этом к значительной потере точности описания процессов в двигателе. Исходя из данных соображений, при получении модели АД были приняты следующие основные допущения:

1. считается, что машина симметричная с идеальными обмотками, обеспечивающими синусоидальное распределение магнитодвижущей силы и магнитного потока вдоль воздушного зазора, который принимается одинаковым по окружности ротора;
2. не учитывается влияние насыщения магнитной цепи, что позволяет принять значения индуктивностей постоянными;
3. не учитываются потери энергии в стали ротора;

4. предполагается, что отсутствуют напряжения и токи нулевой последовательности, т.е. мгновенные значения напряжений и токов фаз:

$$u_A + u_B + u_C = 0; \quad i_A + i_B + i_C = 0.$$

При этом не накладывается никаких ограничений на их гармонический состав.

5. отсутствует влияние на процессы в двигателе температурных и климатических изменений окружающей среды, а также ряда вредных технологических факторов (эксцентricность статора и ротора, конусность ротора, эллиптичность зазора и пр.).

При моделировании динамических процессов трехфазный асинхронный двигатель чаще всего сводят к двухфазной машине, у которой две обмотки  $a$  и  $b$  сдвинуты в пространстве на 90 градусов и совмещены с координатными осями  $a, jb$  (рисунок 24). Установлено, что при питании обмоток статора двухфазного асинхронного двигателя синусоидальными напряжениями, сдвинутыми на 90 эл. градусов, удастся обеспечить в зазоре электрической машины круговое вращающееся электромагнитное поле.

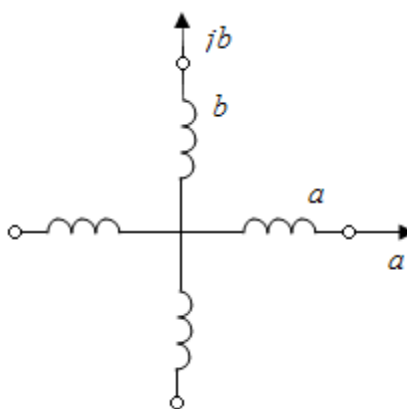


Рисунок 18 – Обмотки двухфазной электрической машины переменного тока

Уравнение динамической механической характеристики короткозамкнутого двухфазного асинхронного двигателя, получающего питание от сети или

индивидуального преобразователя, обладающего свойствами источника напряжения, можно получить из совместного решения следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{1a}}{dt} &= U_{1a} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1a} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2a} \right) \\ \frac{d\psi_{1b}}{dt} &= U_{1b} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1b} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2b} \right) \\ \frac{d\psi_{2a}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left( \psi_{2a} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1a} \right) - \omega \cdot \psi_{2b} \\ \frac{d\psi_{2b}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left( \psi_{2b} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1b} \right) + \omega \cdot \psi_{2a} \\ M &= \frac{3 \cdot z_p \cdot X_m}{2 \cdot X_1} (\psi_{1b} \cdot i_{2a} - \psi_{1a} \cdot i_{2b}) \end{aligned} \right\}$$

В системе уравнений приняты следующие обозначения:

$\psi_{1a}$  - составляющая вектора потокосцепления обмотки статора, ориентированная вдоль оси  $a$  неподвижной системы координат;

$\psi_{1b}$  - составляющая вектора потокосцепления обмотки статора, ориентированная вдоль оси  $b$  неподвижной системы координат;

$i_{2a}$  - составляющая вектора тока обмотки ротора, ориентированная вдоль оси  $a$  неподвижной системы координат;

$i_{2b}$  - составляющая вектора тока обмотки ротора, ориентированная вдоль оси  $b$  неподвижной системы координат;

$U_{1a}$  - составляющая вектора напряжения обмотки статора, ориентированная вдоль оси  $a$  неподвижной системы координат;

$U_{1b}$  - составляющая вектора напряжения обмотки статора, ориентированная вдоль оси  $b$  неподвижной системы координат;

$R_1$  - активное сопротивление обмотки статора;

$R_2$  - активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;



$X_1 = X_{1\sigma} + X_m$ - эквивалентное индуктивное сопротивление обмотки статора, равное индуктивному сопротивлению рассеяния обмотки статора и индуктивному сопротивлению от главного поля;

$X'_2 = X'_{2\sigma} + X_m$ - эквивалентное индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, равное индуктивному сопротивлению рассеяния обмотки ротора и индуктивному сопротивлению от главного поля;

$X_m$ - индуктивное сопротивление от главного поля (контура намагничивания), создаваемое суммарным действием токов статора;

$$y = 1 - \frac{X_m^2}{X_1 \cdot X'_2} \text{ — коэффициент рассеяния;}$$

$\omega$ - скорость вращения ротора.

При исследовании асинхронных электроприводов применяют вращающуюся с относительной скоростью  $\omega_{kc}$  систему координат, с вещественной осью  $x$ , и мнимой осью  $y$ .

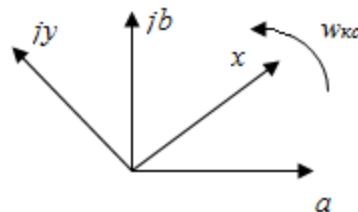


Рисунок 19 - Вращающаяся система координат

Во вращающейся системе координат дифференциальные уравнения, описывающие динамическую модель асинхронного двигателя, имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{1x}}{dt} &= U_{1x} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1x} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2x} \right) + \omega_{\kappa c} \cdot \psi_{1y} \\ \frac{d\psi_{1y}}{dt} &= U_{1y} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1y} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2y} \right) + \omega_{\kappa c} \cdot \psi_{1x} \\ \frac{d\psi_{2x}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left( \psi_{2x} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1x} \right) + (\omega_{\kappa c} - \omega) \cdot \psi_{2y} \\ \frac{d\psi_{2y}}{dt} &= -\frac{R_2'}{X_2' \cdot \sigma} \left( \psi_{2y} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1y} \right) - (\omega_{\kappa c} - \omega) \cdot \psi_{2x} \\ M &= \frac{3 \cdot z_p \cdot X_m}{2 \cdot X_1} (\psi_{1y} \cdot i_{2x} - \psi_{1x} \cdot i_{2y}) + (\omega_{\kappa c} - \omega) \cdot \psi_{2y} \end{aligned} \right\}$$

где  $\omega_{\kappa c}$ -скорость вращения системы координат;

$\psi_{1x}$  — составляющая вектора потокосцепления обмотки статора, ориентированная вдоль оси x вращающейся системы координат;

$\psi_{1y}$ -составляющая вектора потокосцепления обмотки статора, ориентированная вдоль оси y вращающейся системы координат;

$\psi_{2x}$  — составляющая вектора потокосцепления обмотки ротора, ориентированная вдоль оси x вращающейся системы координат;

$\psi_{2y}$ -составляющая вектора потокосцепления обмотки ротора, ориентированная вдоль оси y вращающейся системы координат;

$i_{2x}$  — составляющая вектора тока обмотки ротора, ориентированная вдоль оси x вращающейся системы координат;

$i_{2y}$ -составляющая вектора тока обмотки ротора, ориентированная вдоль оси y вращающейся системы координат;

Подаваемые на вход модели напряжения  $U_{1x}$  и  $U_{1y}$  представляются постоянными сигналами.

Электромеханические процессы описываются уравнением движения двигателя:

$$M - M_c = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega_r}{z_p \cdot dt}$$

где  $\frac{\omega_r}{z_p} = \omega_0$  - частота вращения вала двигателя;

$J_{\Sigma}$  - суммарный момент инерции привода;

$M_c$  - момент сопротивления.

## 4.2 Структурная схема двухфазного двигателя

Для решения вопросов проектирования асинхронного электропривода конвейера и последующего его исследования выбрана структурная схема эквивалентного двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат. Структурная схема двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся со скоростью  $\omega_{\text{эл}}$  системе координат  $x, y$  и реактивной нагрузкой приведена на рисунке 20.

Структурная схема двухфазного электродвигателя во вращающейся системе координат имеет три управляющих воздействия:

– два постоянных по форме напряжения  $U_{1x}$  и  $U_{1y}$ , численные значения которых равны значениям фазных напряжений электродвигателя и определяются в соответствии с выбранной зависимостью  $U_1(f_1)$ ;

– значение угловой частоты вращения поля статора  $\omega_{\text{эл}} = 2\pi \cdot f_1$ .

Параметры звеньев структурной схемы двигателя

Эквивалентные индуктивности обмоток:

$$\text{– статора } L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.077}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.000245 \text{ Гн};$$

$$\text{– ротора } L_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.105}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.000334 \text{ Гн};$$

Эквивалентная индуктивность обмоток

- статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,014245, \text{ Гн}$$

- ротора

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_m = 0,014334, \text{ Гн}$$

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{4,361}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,014 \text{ Гн} - \text{индуктивность, обусловленная}$$

магнитным потоком в воздушном зазоре.

Эквивалентное сопротивление

$$R_s = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,02 + 0,019 \cdot \frac{0,014^2}{0,014334^2} = 0,0381 \text{ Ом.}$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_s = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_s} = \frac{0,04 \cdot 0,014245}{0,0381} = 0,015 \text{ с;}$$

где  $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,014^2}{0,014245 \cdot 0,014334} = 0,04 - \text{коэффициент рассеяния;}$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,0142334}{0,0246} = 0,246 \text{ с.}$$

Для исследования процессов при частотном регулировании в самом электродвигателе и далее в системе регулируемого электропривода конвейера используем метод имитационного моделирования и в качестве средства моделирования электромеханических систем примем программу *MATLABR2007b*.

### 4.3 Имитационная модель асинхронного электродвигателя

Полная схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя (см. рисунок 21), составленная в соответствии со структурной схемой (см. рисунок 20) во вращающейся системе координат с использованием программной среды *MATLAB*.



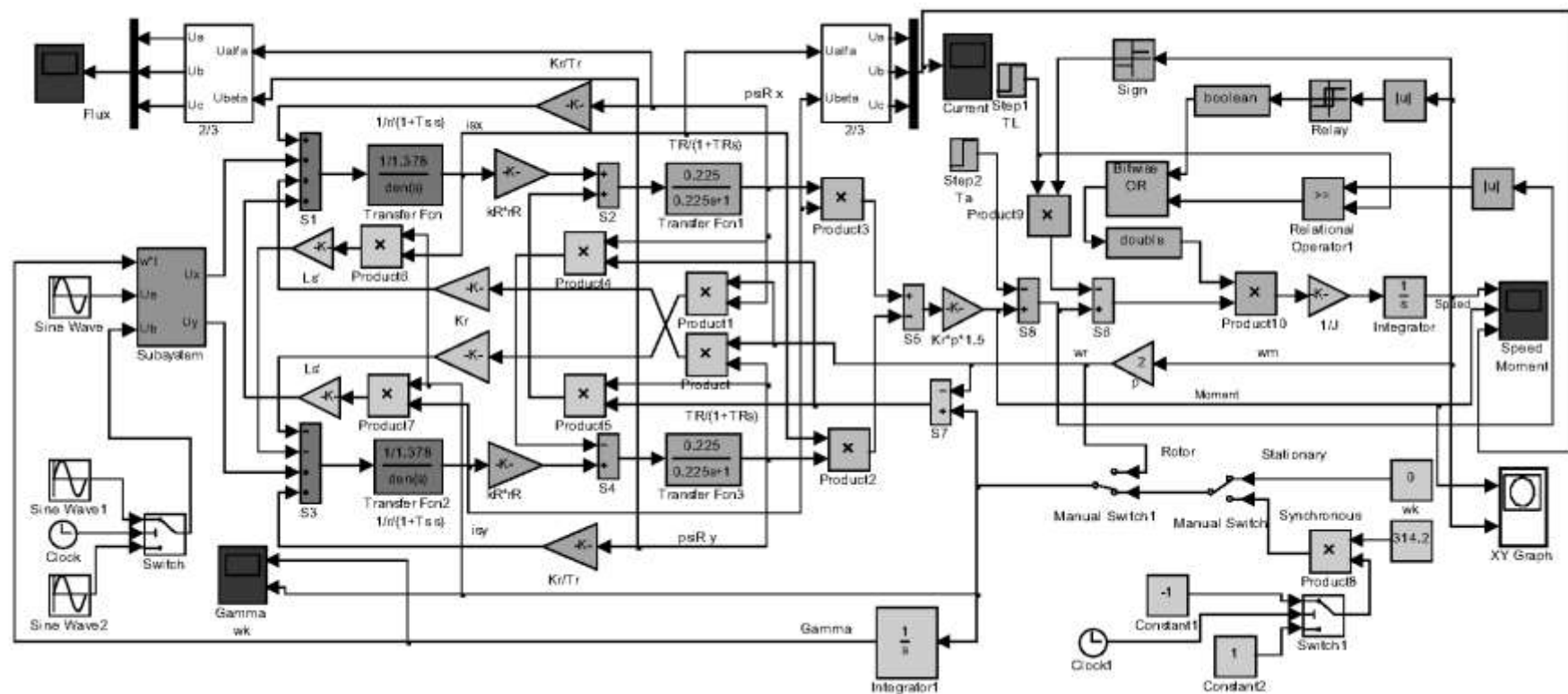


Рисунок 21 – Схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя в абсолютных единицах во вращающейся системе координат

### 4.3.1 Динамические характеристики асинхронного электродвигателя

На рисунках 22 -23 приведены полученные характеристики электродвигателя при прямом подключении к сети с номинальными параметрами  $f_{1н} = 50$  Гц,  $U_{1н} = 220$  В.

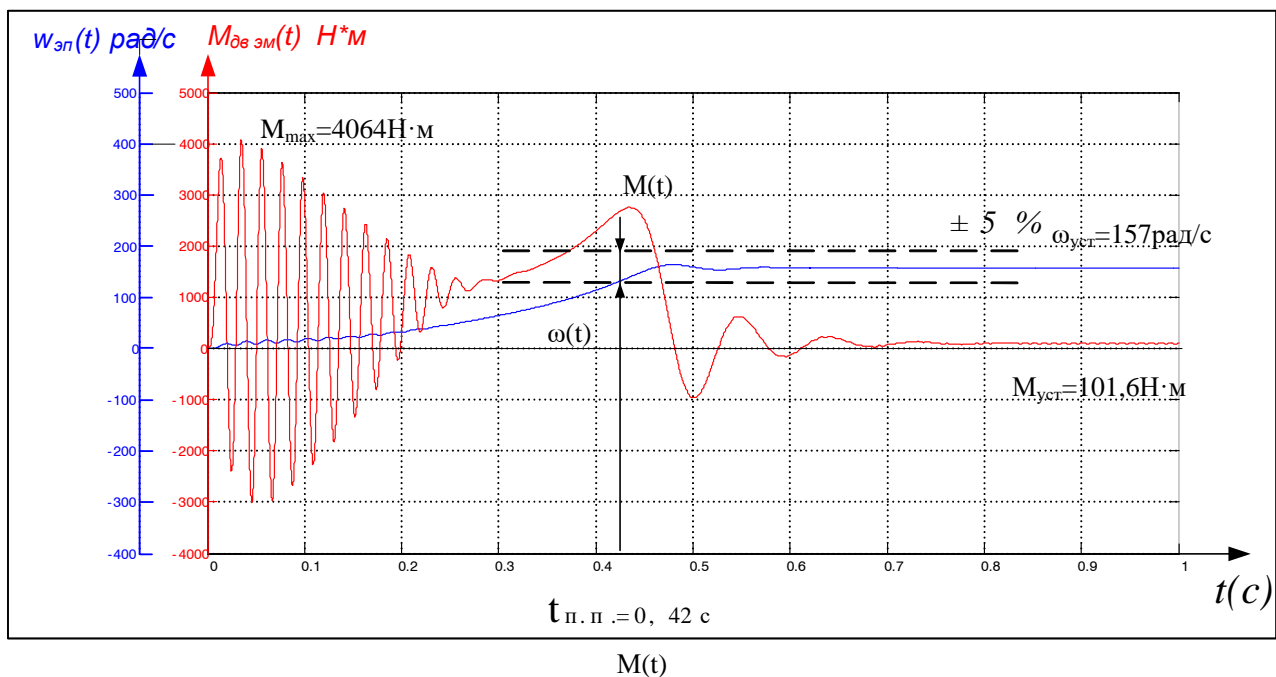


Рисунок 22 - Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при пуске двигателя без нагрузки прямым включением в сеть

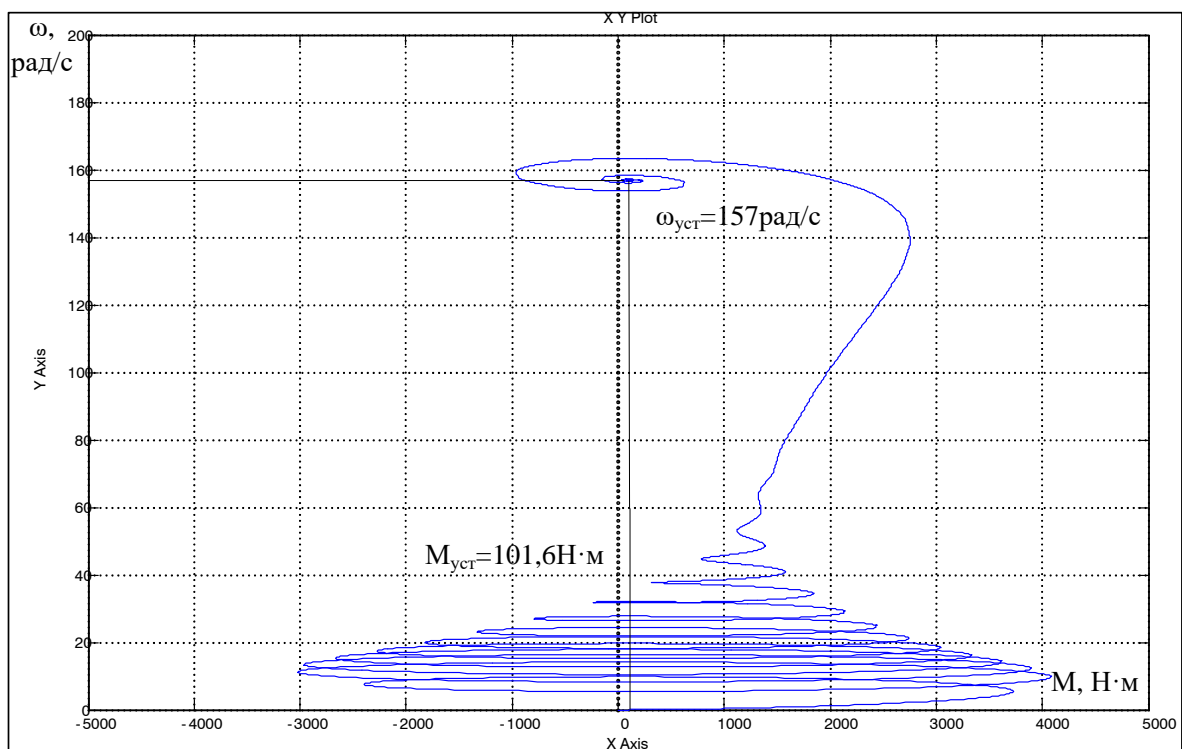


Рисунок 23 - Динамическая механическая характеристика при пуске двигателя без нагрузки прямым включением в сеть

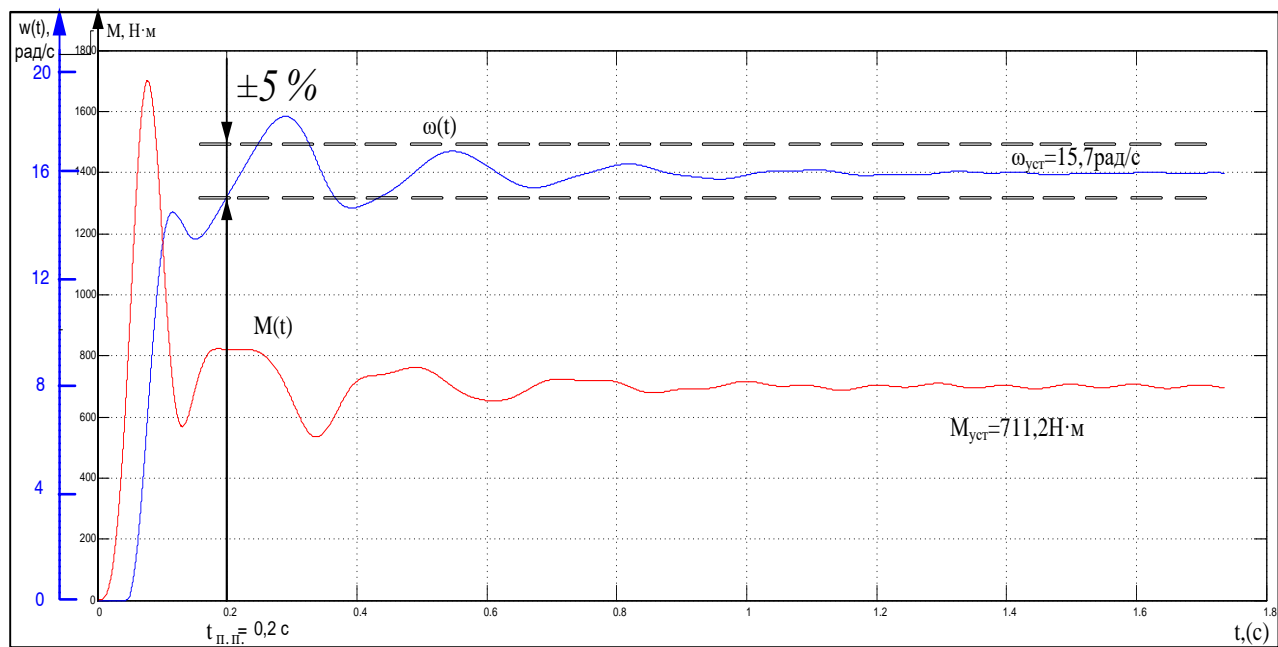


Рисунок 24 - Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при  $U_3=1$  В и  $M_c=0.7$



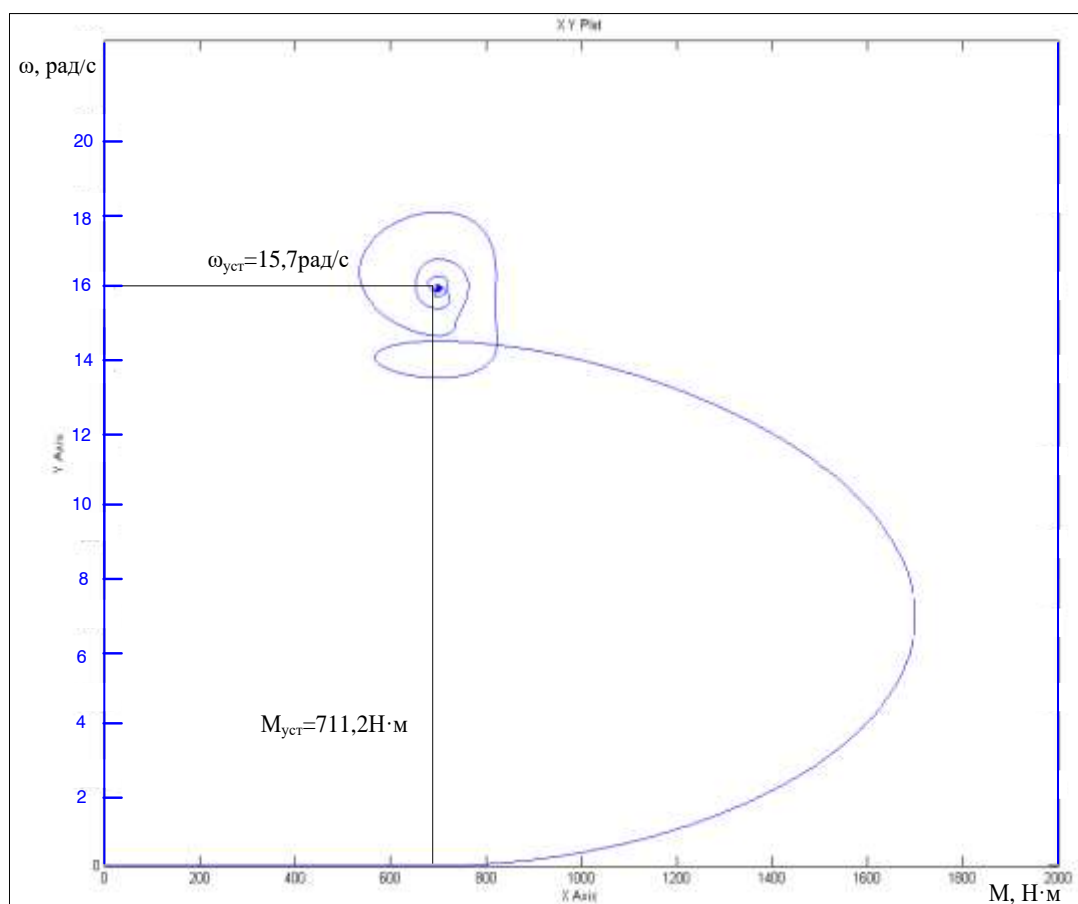


Рисунок 25 - Динамическая механическая характеристика при  $U_3=1 \text{ В}$  и  $M_c=0.7$

Анализ характеристик переходных процессов, изображенных на рисунках на рисунках 24-25 показывает, что данный привод обеспечивает требуемый диапазон регулирования.

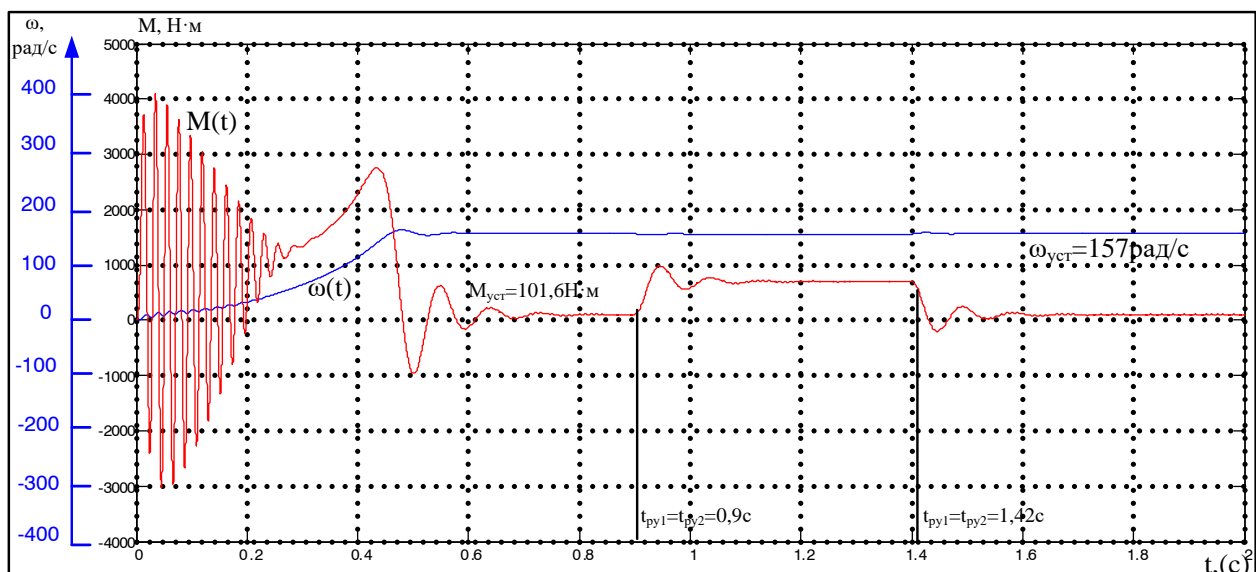


Рисунок 26 - Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при набросе и сбросе нагрузки

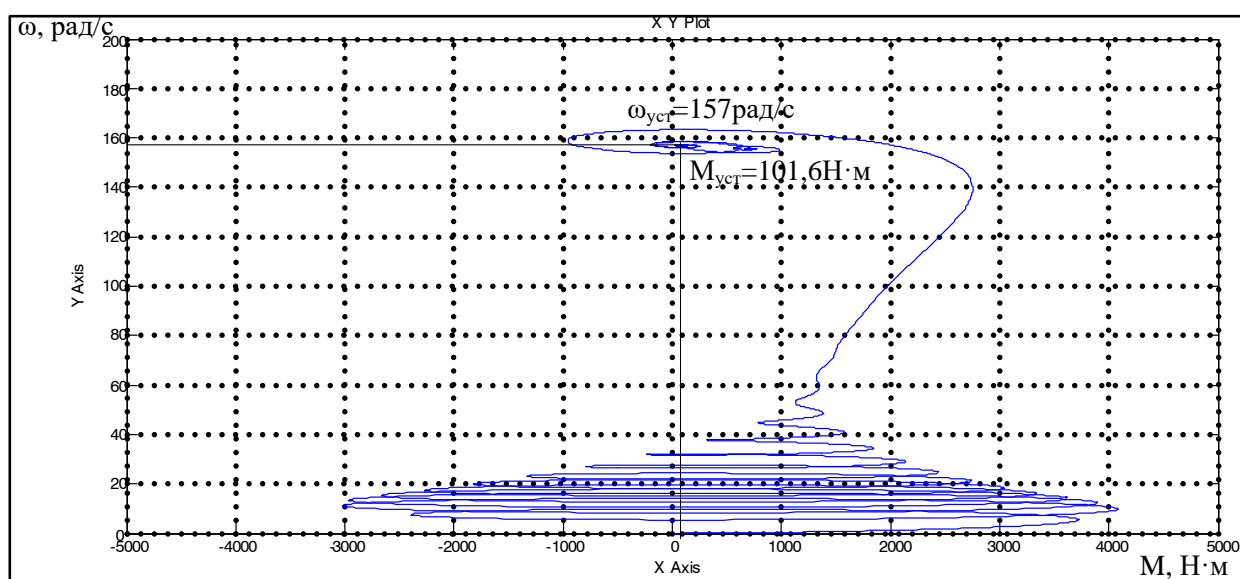


Рисунок 27 - Динамическая механическая характеристика при набросе и сбросе нагрузки

Анализ характеристик переходных процессов скорости и электромагнитного момента при набросе и сбросе нагрузки, изображенных на рисунках 26 и 27, показывает что система адекватно реагирует на изменение нагрузки. Что очень важно для электропривода конвейера.

### 4.3.2 Исследование САУ ЭП с задатчиком интенсивности безкомпенсации момента

Из предыдущих исследований видно, что система обладает достаточно большой колебательностью. Чтобы это уменьшить был реализован задатчик интенсивности, формирующий S-образную задающую функцию.

Задатчик интенсивности устанавливается на входе САР скорости и предназначен для формирования сигнала задания на скорость. ЗИ ограничивает темп нарастания снижения задания на скорость и тем самым обеспечивает, чтобы ускорение и динамический момент электропривода не превышали допустимых значений.

Путем имитационных экспериментов установлено оптимальное значение времени сглаживания ( $T_{ve}$ ) и времени разгона ( $T_{he}$ ), обеспечивающие снижение колебаний момента при пуске до минимально возможной величины.

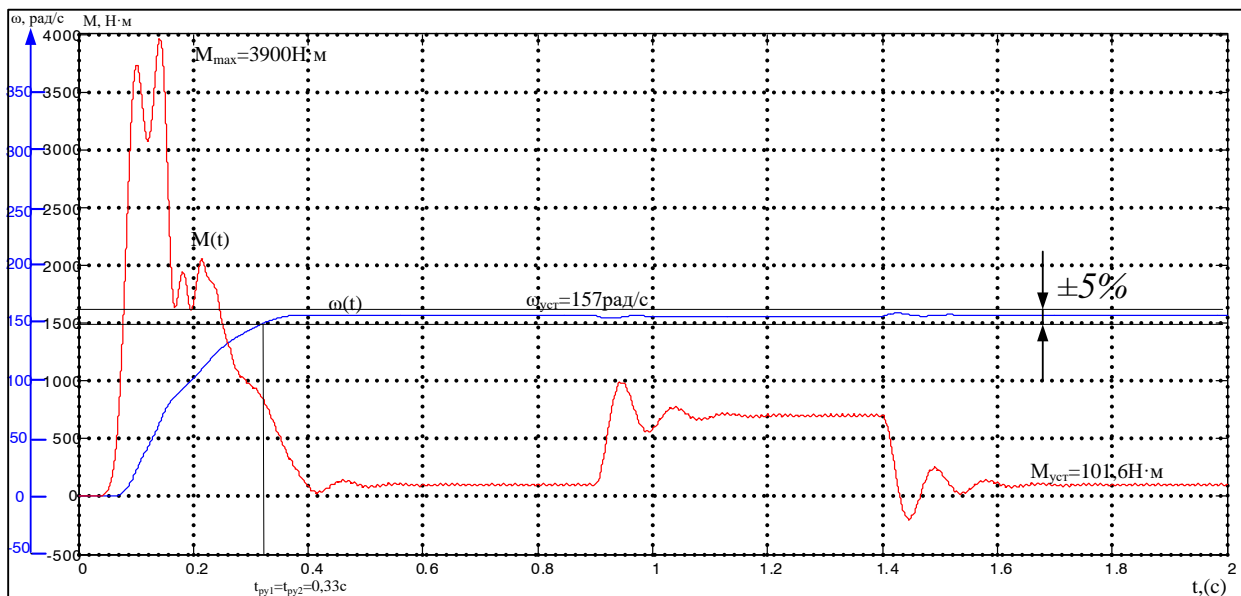


Рисунок 28 - Переходной процесс скорости и момента  $T_{ve}=25$ ;  $T_{he}=90$ .

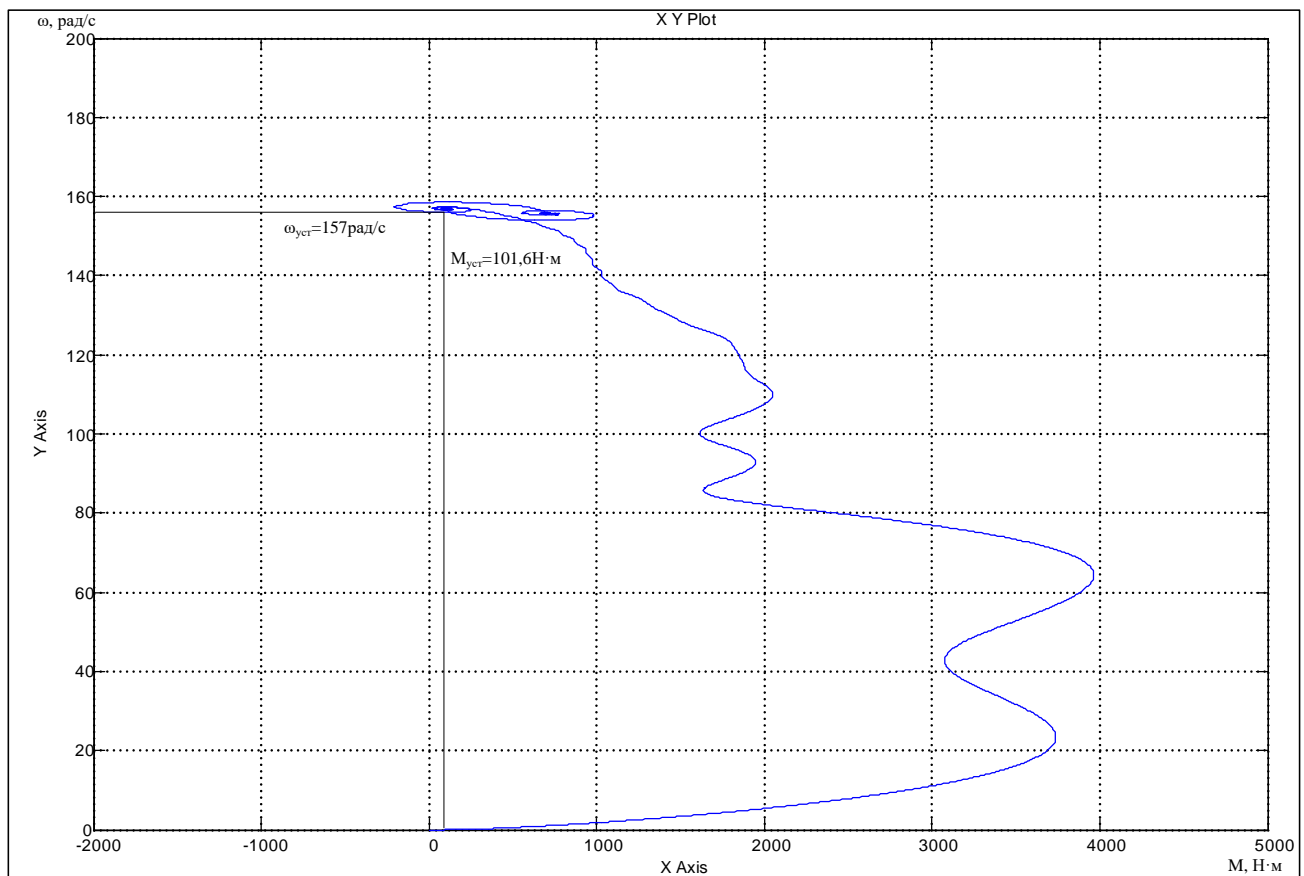


Рисунок 29 - Динамическая механическая характеристика  $T_{ve}=25$ ;  $T_{he}=90$ .

Проанализировав характеристики 28 и 29 можно сделать вывод, что путем установки задатчика интенсивности и оптимальных значений времени сглаживания ( $T_{ve}$ ) и времени разгона ( $T_{he}$ ), можно значительно снизить пульсации момента. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что разработанный частотно-регулируемый электропривод обеспечивает требуемые качественные показатели.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
З-5Г5А1	Мажиев Шахзод Комилжон угли

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов исследовательской работы (ИР): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (ИР)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (ИР)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИР)	Расчет: Расчет бюджетной стоимости ИР по разработке электропривода механизма передвижения тележки крана КМ20/5
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности (ИР)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет ИР
5. Основные показатели эффективности ИР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г5А1	Мажиев Шахзод Комилжон угли		

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В данном разделе необходимо произвести оценку перспективности разработки и распланировать коммерческую ценность разрабатываемого электропривода. Оценить стоимость Регулируемый электропривод движения ленты конвейера. можно исходя из различных параметров, рассмотренных в данной исследовательской работе. В данной работе также оценивается конкурентоспособность Регулируемый электропривод движения ленты конвейера. На основании известных сильных и слабых сторон Регулируемый электропривод движения ленты конвейера. составляется SWOT анализ.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

На основе анализа требований, предъявляемых к Регулируемый электропривод движения ленты конвейера, предназначенный для частотного регулирования, и преобразователь частоты, обеспечивающий требуемый набор функций управления. В качестве способа управления выбрано скалярное управление. В ходе работы рассчитаны и построены электромеханические и механические характеристики электропривода и нагрузки, на основании которых была проведена проверка правильности выбора двигателя и преобразователя В качестве основного метода исследования принято имитационное моделирование на ПК с последующим анализом полученных результатов.

## 5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

### 5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В процессе работы рассматривались три варианта реализации данного устройства:

Вариант 1 – Регулируемый электропривод движения ленты конвейера.

Вариант 2 – Частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Вариант 3 – Дизельный привод механизма передвижения

Конкурентоспособность рассчитывается следующим образом

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл показателя.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Возможность внедрения устройства в единую систему автоматики	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
Удобство в эксплуатации	0,09	4	3	2	0,36	0,27	0,18
Стабильность срабатывания	0,06	5	2	4	0,3	0,12	0,24
Контроль времени задержки коммутации без подключения дополнительного оборудования	0,2	3	4	5	0,6	0,8	1
Простота конструкции и ремонтпригодность	0,2	4	3	2	0,8	0,6	0,4
Компактность	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
Безопасность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4

Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,09	4	3	2	0,36	0,27	0,18
Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	3	2	0,25	0,15	0,1
Затраты на ремонт	0,02	3	4	3	0,06	0,08	0,06
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>31</b>	<b>3,89</b>	<b>3,56</b>	<b>3,23</b>

На основании проведенного анализа конкурентных технических решений можно сделать вывод, что вариант №1 более предпочтительный и является более выгодным и эффективным типом исполнения готового электропривода.

### 5.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 11 – SWOT-анализ

	<b>Strengths (сильные стороны)</b> S1. Техническая простота конструкции; S2. Возможность передачи энергии на расстояние без больших потерь; S3. Возможность регулирования параметров оборудования; S4.Повышение безопасности производства; S5. Широкая применимость привода; S6. Высокая чувствительность метода; S7. Возможность внедрения привода в производство.	<b>Weaknesses (слабые стороны)</b> W1. Большое количество комплектующих. W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок W4. Нельзя применять в пожароопасных условиях.
<b>Opportunities (возможности)</b> O1. Модернизация существующего электрического привода. O2. Отсутствие выброса в окружающую среду вредных веществ. O3. Требования к повышению качества работы электрического привода. O4. Увеличение грузоподъемности .	Повышение технологических параметров – скорости, мощности, грузоподъемности.	Трудозатратный, дорогостоящий электрический привод.
<b>Threats (угрозы)</b> T1. Незаинтересованность покупателей. T2. Отсутствие заинтересованных спонсоров проекта. T3. Узкоспециализированное направление.	Высокая конкуренция компенсируется техническими возможностями электрического привода..	Ввиду отсутствия популярности и трудозатратности проекта, а также его обслуживания может наблюдаться низкий спрос.



Таблица 12 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	+	+	+	+	+	+	+
O2	-	-	-	+	-	-	+
O3	+	+	+	+	+	+	+
O4	+	+	+	+	+	+	-

Таблица 13 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	+	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	+	-	-	-
O4	-	+	+	+

Таблица 14 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	-	-	-	-	-	-	+
T2	-	-	-	-	+	-	+
T3	+	+	+	+	-	+	+

Таблица 15 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	+	+	-	+
T2	+	+	+	+
T3	+	+	+	+

На основании проведенного исследования конкурентоспособности и SWOT – анализа можно сделать вывод, что вариант привода №1 является более предпочтительным, выгодным и эффективным типом привода относительно вариантов №2 и №3. Среди сильных сторон наибольший вес имеет возможность

внедрения привода в производство. Среди слабых сторон - Большое количество комплектующих.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном проекте участвует Инженер и Руководитель. Каждый из них выполняет заданную работу, в соответствии со своими обязанностями.

Список производимых работ, а также их количество, в данном исследовательском проекте, представлены в виде таблицы 16.

Таблица 16 – Список производимых задач и работ и их исполнители

№ раб	Наименование работы	Должность исполнителя
1	Создание технического задания	Руководитель
2	Выбор направления исследований	Руководитель
		Инженер
3	Изучение материала по теме	Инженер
4	Планирование работ по проекту	Руководитель
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер
6	Разработка макета	
7	Проведение исследования	Руководитель
		Инженер
8	Проверка качества выполнения исследования	Руководитель
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер
11	Подготовка к защите темы НИ	Руководитель
		Инженер

### 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость является важнейшим экономическим показателем, позволяющим оценить эффективность использования рабочего времени в процессе производства или выполнения работ. Формула трудоемкости показывает, какое количество труда необходимо применить при изготовлении одной единицы продукции.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости  $t_{ожи}$  определяется по формуле:

$$t_{ожи} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

где  $t_{mini}$  – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем, чел.-дн.;  $t_{maxi}$  – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

Где  $Ч_i$  – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 17.

### 5.2.3 Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Отрезки – время затраченной исполнителем на определенный вид работ.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Это можно

сделать по формуле, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

где  $k_{кап}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кап.рук} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кап.инж} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где  $T_{кап}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году.

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 17.

Таблица 17 – Временные показатели проектирования

Номер выполняемой работы	Трудоёмкость работ						Длительнос ть работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительнос ть работ в календарны х днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожi}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	10	-	12	-	10,8	-	10,8	-	11	-
2	4	3	6	5	4,8	4,2	2,4	2,1	4	3
3	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
4	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
5	-	20	-	24	-	21,6	-	21,6	-	22
6	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	8
7	5	3	7	5	5,8	4,2	5,8	2,1	8	3
8	10	-	14	-	11,6	-	11,6	-	12	-
9	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8
10	-	15	-	20	-	17	-	17	-	17
11	2	-	6	-	3,2	-	3,2	-	4	-
Итого	32	51	46	71	39,8	59,8	38,4	55,6	51	65

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

Таблица 18 - Диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	11														
2	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	7														
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4														
4	Планирование работ по проекту	Руководитель	8														
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер	22														
6	Разработка макета	Инженер	8														
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	11														
8	Проверка качества выполнения исследования	Руководитель	12														
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер	8														
10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	17														
11	Подготовка к защите темы НИ	Руководитель	4														



- Инженер;



- Руководитель;

Таблица 19 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	116
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	65
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	51

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

#### 5.2.4 Организационная структура проекта

Исполнителей и их роли в создании проекта сведем в таблицу 20.

Таблица 20 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
Руководитель проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов. 2. Проведение экспериментов	408
Исполнитель проекта	1. Подготовка и проведение экспериментов. 2. Анализ результатов экспериментов. 3. Анализ имеющихся технических решений и результатов.	520
<b>Итого</b>		<b>928</b>

#### 5.2.5 Бюджет исследовательской работы

Чтобы сформировать бюджет на исследовательскую работу, необходимо полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. При формировании бюджета на

исследовательскую работу, все спланированные затраты группируются по статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

#### **5.2.6 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)**

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 21.



Таблица 21 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Сменный картридж	1 шт.	600	600
Бумага для принтера А4 (500 листов)	1 шт	200	200
Карандаш чертежный	3 шт.	22	66
Ручка шариковая	5 шт	30	150
Система защиты и автоматической блокировки (комплект)	1 шт	5000	5000
Соединительные провода	10 шт	1000	10000
Шлейфы	10 шт	120	1200
Итого:	17216 руб.		

### 5.2.7 Расчет амортизации

На основании данных приведенных в таблице 22, проводим расчет амортизации:

Таблица 22 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Электродвигатель МКТФ-112-6	1	10	228000	228000
2	Микроконтроллер SIMATIC	1	10	478000	478000
<b>Итого:</b>	706 тыс. руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot m,$$

где  $И$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для электродвигателя МКТФ-112-6, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Электродвигатель МКТФ-112-6:

$$A = \frac{0,1 \cdot 228000}{12} \cdot 4 = 7600 \text{ руб.}$$

Микроконтроллер SIMATIC:

$$A = \frac{0,1 \cdot 478000}{12} \cdot 4 = 15933 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 7600 + 15933 = 23533 \text{ руб.}$$

### **5.2.8 Специальное оборудование для исследовательских (экспериментальных) работ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица 23 – Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. Датчик напряжения ёмкостной XT7C40PC440 Schneider Electric	1 шт.	8600	8600
2. ACS712ELCTR-05B-T, Датчик тока	1 шт	300	300
3. Датчик магнитного поля sm12-3010	1 шт.	500	500
Итого	9400		

Т.о., общие затраты на опытный образец составили 50149 руб.

### 5.2.9 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

При отпуске в 28 раб. дня –  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{44850 \cdot 11,2}{265} = 1895,5 \text{ руб.}$$

где  $Z_m$  – должностной оклад работника за месяц;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 24);  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{289} = 1284 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{т}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 23000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 44850 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{т}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где  $З_{\text{т}}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 24 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	265	289

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$З_{\text{тс}}, \text{руб}$	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}, \text{руб}$	$З_{\text{дн}}, \text{руб}$	$T_{\text{р}}, \text{раб.дн.}$	$З_{\text{осн}}, \text{руб}$
Руководитель	23000	0,3	0,2	1,3	44850	1895,5	51	96617
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1284	65	83460
Итого:								180077

### 5.2.10 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 96617 = 14492,55 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 65484 = 12519 \text{ руб.}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

### 5.2.11 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (96617 + 14492,55) = 33332 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (65484 + 12519) = 23400 \text{ руб.}$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### 5.2.12 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = \left( \frac{\text{сумма статей}}{6} \right) \cdot k_{\text{нр}} =$$

$$= (23533 + 17216 + 9400 + 180077 + 27011,55 + 56732) \cdot 0,2 = 62793 \text{ руб}$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Таблица 26 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Сырье, материалы	Амортизация	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
17216	23533	9400	180077	27011,55	56732	313969,5	62793	376763,5

### 5.3 Определение ресурсоэффективности исследования

**Интегральный показатель финансовой эффективности** исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Дизельный привод;
2. Дизель-электрический привод;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{376763,5}{400000} = 0,94$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{350000}{400000} = 0,86$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{390000}{400000} = 0,98$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

### 5.3.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$  – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем балльные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 27.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Балльная оценка Дизель-Электрический	Балльная оценка Дизельный
1. Безопасность при использовании установки	0,1	4	5	5
2. Стабильность работы	0,1	3	4	2
3. Технические характеристики	0,3	4	3	4
4. Ремонтопригодность	0,2	4	3	3
5. Простота эксплуатации	0,3	5	4	4
Итого:	1	4,5	3,9	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 = 4,2$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 = 3,8$$

$$I_{p3} = 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 2 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 = 3,7$$

**Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки** определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{исп.1}}^{\text{финр}}} = \frac{4,2}{0,94} = 4,47$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и



выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 28).  
Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{4,18}{4,47} = 0,89$$

Таблица 28 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	0,86	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,2	3,8	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	4,47	4,42	3,78
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,98	0,85

### Вывод:

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации привода механизма передвижения тележки крана КМ20/5, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 116 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 65 и

общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель  
- 51;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 376763,5 руб;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,94, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,2, по сравнению с 3,8 и 3,7;
- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,47, по сравнению с 4,42 и 3,78, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Мажиев Шахзод Комилжон угли

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электротехника и Электроэнергетика

Тема ВКР:

Регулируемый электропривод движения ленты конвейера	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом исследования является ленточный конвейер обогатительной фабрики. Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности для перемещения и транспортировки горной массы
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организованные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны)	- ГОСТ 12.0.003-2015 - СанПиН 2.2.4.548–96 - СП 52.13330.2016 - ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ - ГОСТ 12. 1.019-2017 ССБТ - ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ - СанПин 2.2.4.3359-16 - СН 2.2.4/2.1.8.566-96
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	- Превышение уровня вибрации - Превышение уровня шума - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - Недостаток искусственного освещения - Отклонение показателей микроклимата
3. Экологическая безопасность:	- Выбросы химических веществ в атмосферу, гидросферу и литосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: Пожар, взрыв Типичная ЧС: Пожар
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Мажиев Шахзод Комилжон угли		

## 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе конвейерной линии обогатительной фабрики, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства, так как оно связано с высокой концентрацией угольной пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP54.

Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 .

Напряжение питания 220 и 380 В. Электроустановки до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

## **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства**

До работ на с электроприводом допускаются только обученные и аттестованные крановщики не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

В соответствии со статьей 94 ТК РФ для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены:

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена, а вечерней — II смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени ст. 108 Трудового кодекса РФ. В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 30 минут. Перечень таких

работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

### **6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Поскольку электропривод имеет механическую, либо автоматизированную систему управления в которой имеются средства управления в виде штурвалов (рычагов) необходимо рассмотреть соответствующие требования к ним. Управление электроприводом может осуществляться как сидя, так и стоя.

В соответствии с ГОСТ 22269-76 [1] при размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;
- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;
- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.

Штурвал используемый для ручного управления электроприводом должен отвечать общим эргономическим требованиям.

Плоскость вращения маховика, не имеющего рукоятки, и штурвала должна находиться при вращении двумя руками:

сидя - перпендикулярно продольной плоскости симметрии сиденья и под углом от 40 до 90° к горизонтали;

стоя - под углом от 0 до 90° к горизонтали с осью вращения в сагиттальной плоскости тела оператора

Плоскость вращения маховика без рукоятки, вращаемого одной рукой как сидя, так и стоя, должна находиться под углом от 10 до 60° по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки.

Плоскость вращения маховика, снабженного рукояткой должна находиться по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки под углом:

от 10 до 90° - при вращении кистью с предплечьем и

от 10 до 45° - при вращении всей рукой.

Интервал между ободами и другими деталями соседних маховиков, расположенных в одной плоскости, должен быть не менее:

50 мм - при вращении одной рукой последовательно или в случайном порядке;

100 мм - при вращении двумя руками одновременно;

130 мм - при работе в рукавицах или перчатках.

## **6.2 Производственная безопасность**

В данном пункте осуществлен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении или эксплуатации разрабатываемого регулируемого электропривода движения ленты конвейера. Они могут возникнуть в процессе эксплуатации оборудования.

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [2] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 29 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо- тка	Изготов -ление	Эксплуа т-ация	
1.Превышение уровня вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.012 - 2004 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. [3]
2.Превышение уровня шума		+	+	
3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СанПин 2.2.4.3359-16 Санитарно- эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. [4]  ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [5]
4. Отсутствие или недостаток искусственной освещенности	+	+	+	
5. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.[6]  СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.[7]



### 6.2.1. Анализ вредных и опасных факторов

#### 1.Повышенный уровень вибрации

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации являются дещламационные и цилиндрические грохоты. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами. В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [8] пункт 6.1 предельно допустимые уровни вибрации не должны превышать значений, приведенных в таблице 30.

Таблица 30 – Предельно допустимые значения виброускорения и виброскорости

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X,Y,Z			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с	дБ	м/с·10	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты,

которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты, работающих используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.

## 2. Повышенный уровень шума

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании линии, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты, дробилки, конвейер в рабочем состоянии. В горно-обогатительном производстве шум достигает 75—80 дБ.

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью.

Предельно допустимые уровни звукового давления представлены в таблице 31.

Таблица 31 - Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест.

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

	территории предприятий.										
--	----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

В соответствии с СанПин 2.2.4.3359-16 [9], главные санитарные нормы уровня шума на рабочих местах следующие – это 80 дБА. – пункт 3.2.2.

Максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I, не должны превышать 110 дБА и 125 дБА соответственно. А пиковый уровень звука С не должен превышать 137 дБС. – пункт 3.2.5.

Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

### 3. Неправильная освещенность рабочей зоны

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму.

В соответствии с ГОСТ Р 55710-2013 [10] средняя освещенность на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должна быть не менее 200 лк. Равномерность освещенности должна быть не менее 0,40 для зоны непосредственного окружения; 0,10 - для зоны периферии. При равномерности освещенности 0,10 освещенность поверхностей должна быть не менее 50 лк на стенах, 30 лк - на потолке.

Согласно ГОСТ Р 55710-2013 [10] Освещенность рабочего места оператора соответствует характеру зрительной работы и относится к разряду - IV Г и должна удовлетворять следующим табличным данным табл. 32:

Таблица 32 - Нормы освещенности на рабочем месте

Наименование помещения	$E_{\text{экс}}$ , лк
Рабочее место	200

В дневное время достигается нормальная освещенность за счет естественного света, который проникает через окна, а в утреннее и вечернее время нормальная освещенность достигается за счет искусственного освещения – лампами.

Такое освещение обеспечивает безопасную рабочую зону для здоровья сотрудников, так как входит в допустимое значение освещенности рабочей зоны.

#### 4. Опасность получения удара электрическим током

Применяемое в производственном процессе электрооборудование напрямую влечет за собой возможность поражения электрическим током, последствия которого могут быть в виде ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон, электролиза крови, и как следствие, нарушения нормального функционирования организма, а также опасного возбуждения клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

К работам по наладке электропривода допускаются не менее двух человек по письменному разрешению руководителя. При настройке схем, замене предохранителей и т.д. необходимо использовать приборы и средства защиты, предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В. При наладке привода необходимо применение запрещающих и предупреждающих плакатов. Испытание электропривода осуществляется сначала на холостом ходу, а затем под нагрузкой.

Для того, чтобы исключить возникновения поражения электрическим током, в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 2017 [5] рекомендуется проводить организационные мероприятия, такие как:

- произвести изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- производить технический осмотр оборудования;
- соблюдение условий эксплуатации, а также сборки и установки оборудования согласно конструкторской документации;
- произвести установку защитного заземления;
- оснастка помещения всеми необходимыми предписанию нормами для электробезопасности;
- проводить инструктаж по технике безопасности персоналу, работающему с оборудованием;
- обеспечение свободного прохода;
- использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели для защиты от КЗ;
- обучение мероприятиям по работе с электрическими приборами.

К средствам защиты от удара электрическим током, относятся резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента и т.д., должны проверяться перед каждым использованием.

## 5. Отклонение показателей микроклимата

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожаному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Работы оператора по обслуживанию конвейера относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать для категорий работ средней тяжести IIa значениям, указанным в табл. 33 СанПиН 2.2.4.548–96 [7] - замечание выше пункт 5.3.

Таблица 33 - Температура, влажность и скорость движения воздуха

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей	Относительная влажность	Скорость движения воздуха
Холодный	IIa	19-21	18-22	60-40	0,2
Теплый	IIa	20-22	19-23	60-40	0,2

Примечание. Вертикальный и горизонтальный перепад температур не должен превышать 4 °С.

Отклонение условий микроклимата может привести к резкому снижению работоспособности и даже к профессиональным заболеваниям.

Для того, чтобы защитить организм рабочего от неблагоприятного воздействия параметров микроклимата, необходимо наличия в кабине крановщика специальных терморегулирующих приборов, в зимнее время необходимо дополнительно установить утеплители.

### 6.3 Экологическая безопасность

При эксплуатации электропривода возникает вредное воздействие на гидросферу, атмосферу и литосферу.

На гидросферу эксплуатация электропривода влияет следующим образом:

Возникновение жидких отходов – отходы, образующиеся на территории производственных объектов, состоящие из попутных вод, производственных сточных вод, дождевых стоков и бытовых сточных вод.

Утилизация жидких осуществляется посредством канализационной системы с дальнейшей очисткой на очистных сооружениях.

На атмосферу эксплуатация электропривода влияет следующим образом:

При эксплуатации электропривода образуются газообразные отходы – пыль, опасные пары и аэрозоли, жидкие отходы – лакокрасочные покрытия, смазочные материалы, сточные воды, твердые отходы – металлические части, изоляция.

Выделяются газообразные отходы такие как: углекислый газ, пары воды; выбросы промышленных печей; отходящие газы технологических установок; выбросы вентиляционных установок.

Газообразные отходы нуждаются в очистке. Для этого применяются различные пылеуловители и фильтры (волоконные, кассетные, зерновые, масляные).

При аварийных ситуациях, таких как короткое замыкание, возможно возгорание обмотки статора электродвигателя. Изоляционный материал при горении выделяет опасные пары, загрязняющие атмосферу. На обмоточном участке в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

Для утилизации этих отходов и самого готового изделия необходимо провести следующие мероприятия:

- отделить металлические и неметаллические части (отходы);
- металлические части (обмоточный провод, сердечники, валы, подшипники, станины) переплавляют для последующего производства;
- неметаллические части сортируются и подвергаются специальной переработке или утилизации.

На литосферу работающий электропривод оказывает вибрационное воздействие, так как является источником вибрации. Со временем наиболее чувствительные к сотрясению рыхлые неуплотненные слои почвы начнут смещаться и уплотняться. При этом структурные связи почвы нарушаются и, вероятно, внезапное разжижение и образование оползней и отвалов.

Чтобы предупредить вредное влияние электропривода на литосферу необходимо устанавливать виброопоры и демпфирующие элементы.

Целями современной промышленности в целом являются переход на полностью безотходное производство, минимизация отходов и использование вторичного сырья. Эти цели могут быть решены только с помощью комплексного подхода, включающего решение технологических, организационных, конструкторских задач.

Чтобы существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду необходимо максимально снизить время проводимых работ.

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В данном разделе рассматриваются возможные и типичные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при эксплуатации регулируемого электропривода движения ленты конвейера.

В рассматриваемом технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагрева проводников, что приводит к воспламенению изоляционного материала.

На рабочем месте каждый электропривод оборудования должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок. Установлены системы предотвращения пожара и противопожарной защиты.



В случае возникновения пожара необходимо срочно завершить работу с оборудованием и покинуть помещение. Вызвать пожарную бригаду и оставаться на безопасном расстоянии от производственного здания, где произошел пожар.

Для исключения возможности возникновения пожара и взрыва, рекомендуется проводить следующие организационные мероприятия:

- обязательное соблюдение всех правил технической эксплуатации регулируемого электропривода движения ленты конвейера;
- проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения;
- прохождение противопожарного инструктажа.

Также на производстве может возникнуть взрыв в результате короткого замыкания.

В процессе эксплуатации электропривода возможно возникновение короткого замыкания, что может привести к взрыву оборудования, а также нанести ущерб здоровью людей. Чтобы предотвратить данную чрезвычайную ситуацию, необходимо соблюдать следующие правила:

Проводить организационные мероприятия:

- Проводить техосмотр;
- Соединять рабочие органы проводами необходимого сечения и соответствующего материала

Для исключения возможности возникновения взрыва, рекомендуется проводить следующие мероприятия:

- Эксплуатационные мероприятия:
  1. Соблюдение техники безопасности при работе оборудования;
  2. Соблюдение норм эксплуатации оборудования;
  3. Обеспечение свободного прохода;
  4. Содержание оборудования в исправном состоянии.

### **Выводы по разделу**

В результате выполнения анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации регулируемого электропривода движения ленты конвейера, а также во время его проектирования, были выявлены характерные чрезвычайные ситуации, а также меры по их устранению. Данные исследования, проведенные в рассматриваемом разделе, могут быть использованы в реальных условиях эксплуатации регулируемого электропривода движения ленты конвейера.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В выпускной квалификационной работе был разработан и исследован асинхронный частотно-регулируемый электропривод ленточного конвейера.

В работе был сделан выбор оборудования. Предложено использовать современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод. Выбран электродвигатель серии ВАО2-280S4, преобразователь частоты фирмы АВВ. Требуемый диапазон регулирования является небольшим, однако, поэтому выбран преобразователь позволяющий реализовать скалярное регулирование с обратной связью по скорости.

Разработана структурная схема асинхронного частотно-токового электропривода со скалярным управлением. Проведены имитационные исследования в программной среде MATLAB.

Получены навыки выполнения самых разных работ, как исследовательского, так и инженерного плана, таких как: работа с литературой, в том числе на английском языке, расчет и моделирование на ПК.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пертен Ю.А. Конвейеры. Справочное пособие Л.: Машиностроение, 1984. 367с.
2. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины: учебное пособие М.: Энергоатомиздат, 1983г. 483с.
3. Техническая документация ЗАО ОФ «Распадская».
4. Васильев Н.В. Транспорт на обогатительных фабриках М.: углетехиздат, 1949.- 278с.
5. Галкин В.И. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий : учебное пособие для вузов М.: Московский государственный горный университет, 2005-543 с.
6. Левинсон В.Н. Транспортные устройства непрерывного действия : Машгиз, 1960. - 364 с.
7. Позынич Е.К. Расчет ленточного конвейера: учебное пособие Х.: ДВГУПС, 2006. - 66с
8. Чернышев А.Ю., Ланграф СВ., Чернышев И.А. Исследование систем скалярного частотного управления асинхронным двигателем: Учебно-метод. пособие. /Томск. Политехи. Ун-т. - Томск: Изд-во ТПУ, 2004.-29с.
9. Чернышёв А.Ю., Чернышёв И.А.. Расчёт характеристик электропривода переменного тока. Часть 1. - Асинхронный двигатель: Учебное пособие. -Томск: Издательство ТПУ, 2005.
- 10.Копылов И.П. Электрические машины. - М.: Высш. шк., Логос, 2000.
11. Руководство по монтажу и вводу в эксплуатацию ACS800. Корпорация АВВ, 2004.-132с.

12. Экономика и организация производства в дипломных проектах: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Под общей ред. К. М. Великанова. - 4-е издание перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1986. - 256.
13. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов / СВ. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьков и др.; Под общ. Ред. СВ. Белова. 2-е изд., испр. И доп. - М.: Высш. шк., 1999. - 448с.
14. Расчет искусственного освещения. Методическое пособие. - Томск, ТПУ, 1995.-25с.
15. СанПиН 2.2.4.548-96
16. СанПиН 2.2.272.4.1340-03.
17. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96; ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ.
18. НПБ105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
19. Устройство контроля скорости УКС. Руководство по эксплуатации. - 41с.
20. Датчик контроля схода ленты КСЛ-2. Паспорт. - 14с.
21. Выключатель кабель - тросовый КТВ-2М. Паспорт. - 7с.
22. Н. Н. Синягин. Система ППР оборудования и сетей промышленной энергетики. М.: Энергоатомиздат, 1984г.
23. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
24. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.

25. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
26. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
27. ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
28. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
29. ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования.
30. СанПин 2.2.4.3359-16 – Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
31. ГОСТ 12. 1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
32. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
33. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
34. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы.
35. ГОСТ Р 55710-2013 - Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.

## CONCLUSION

The purpose of final qualifying work was designing and research of the modern adjustable electric drive of the belt conveyor 120100F - 180. From the studied technological process and conveyor calculation, the qualifying requirements to electric drive were set. The electric motor has been chosen, for the given electric motor from catalogue data the parameters of equivalent circuit have been determined and electromechanical and mechanical characteristics were plotted. By mathematical modeling in software environment «MATLAB» characteristics have been received: "Start-up"; «Start-up with loading»; «load dropping»; «load-on», and also "Start-up" at different frequencies.

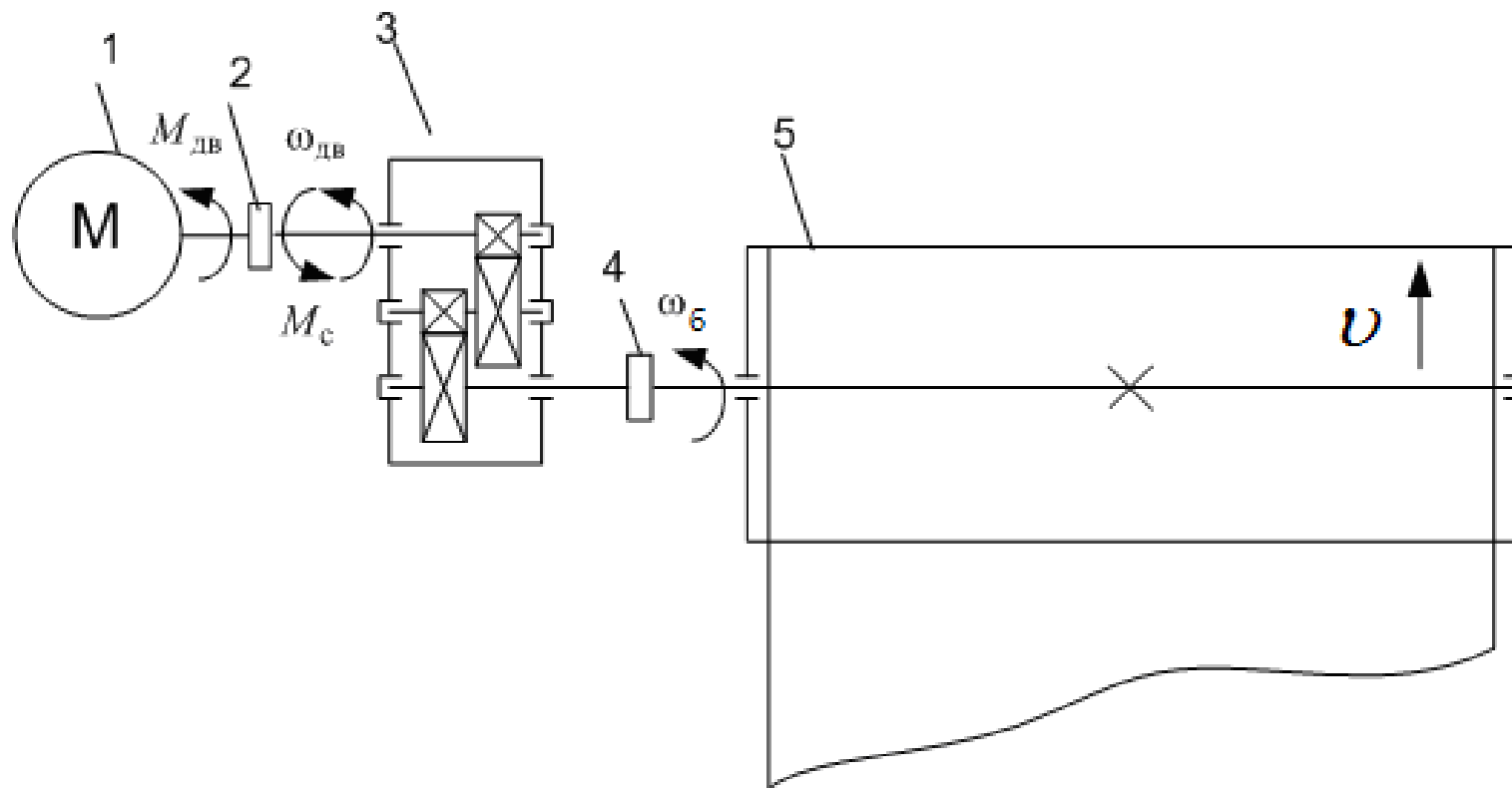
Skills in most different works, both research, and the engineering plan, such as: work with the literature, including in English, calculation and modeling on the personal computer are received.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

### Графический материал

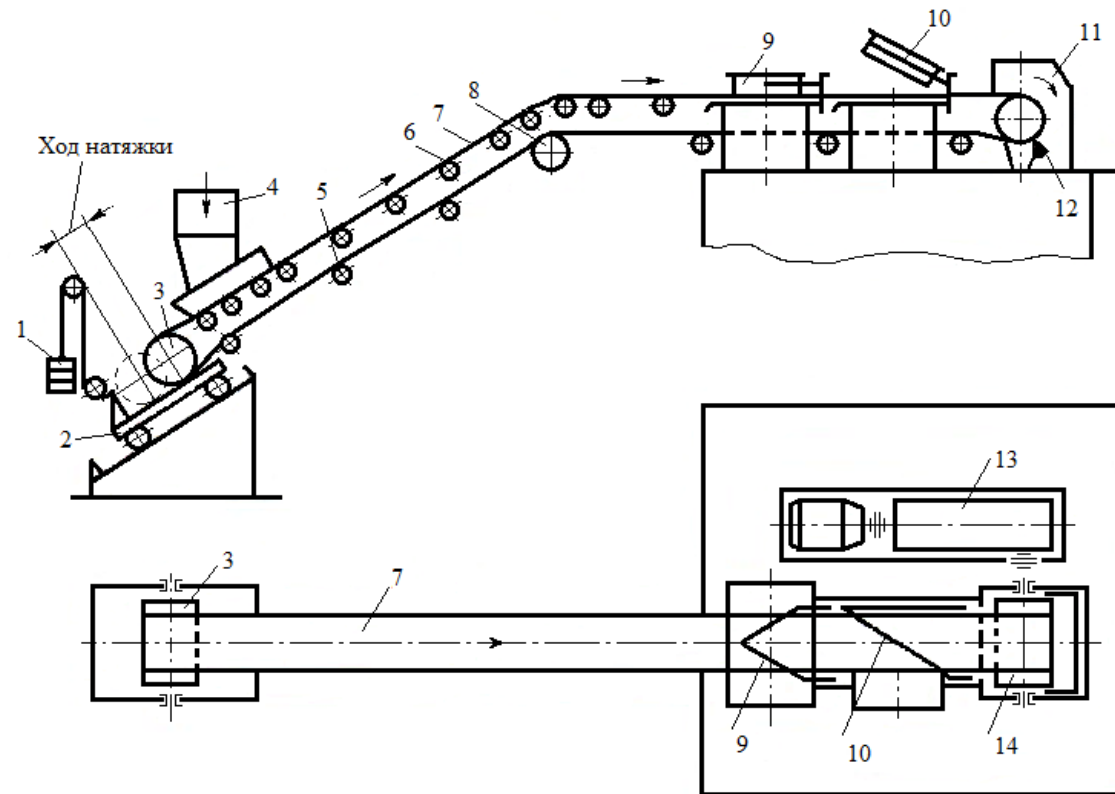


## Кинематическая схема привода конвейера



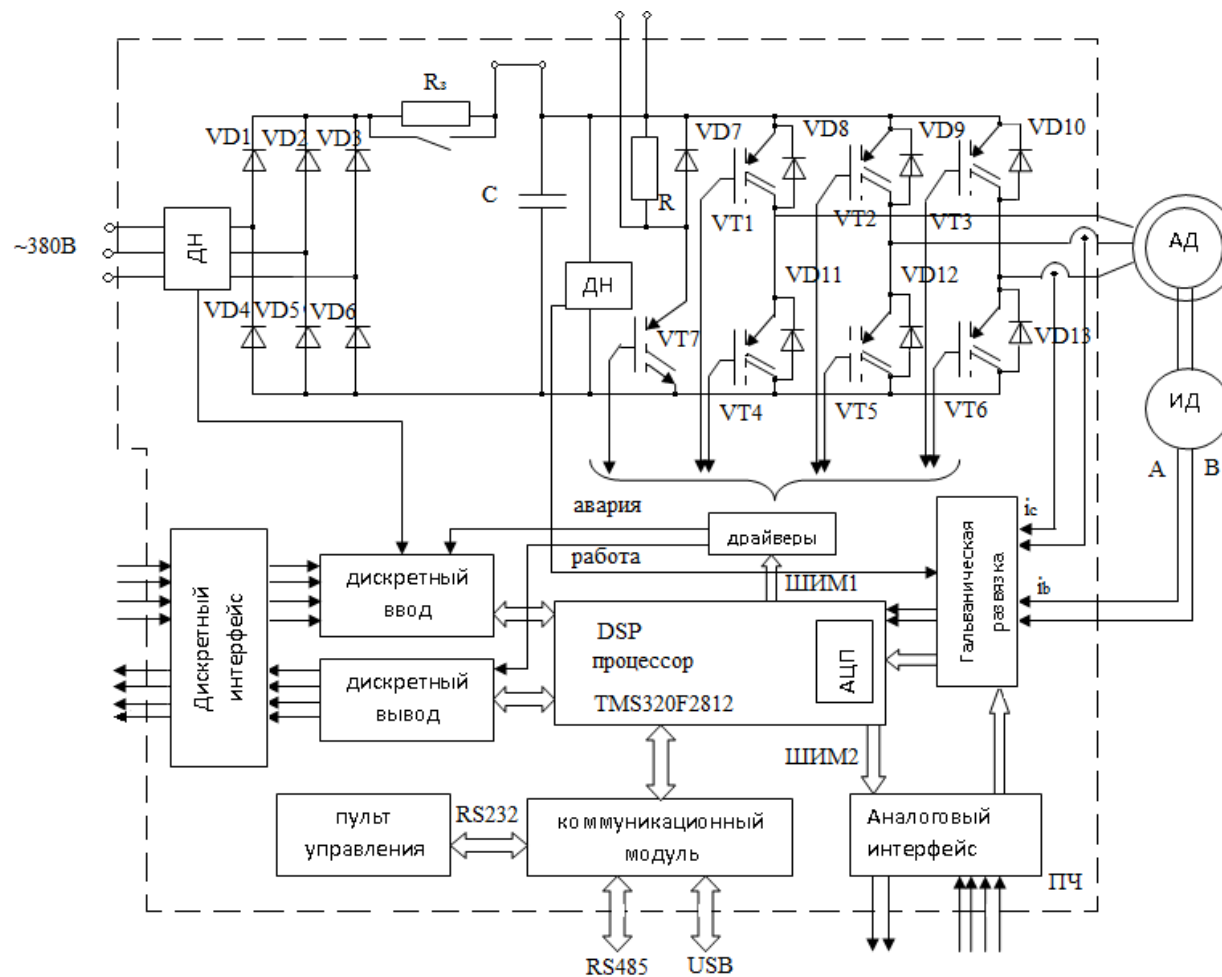
1 - электродвигатель; 2,4 – муфта; 3 –редуктор; 5 – приводной барабан.

## Функциональная схема конвейера

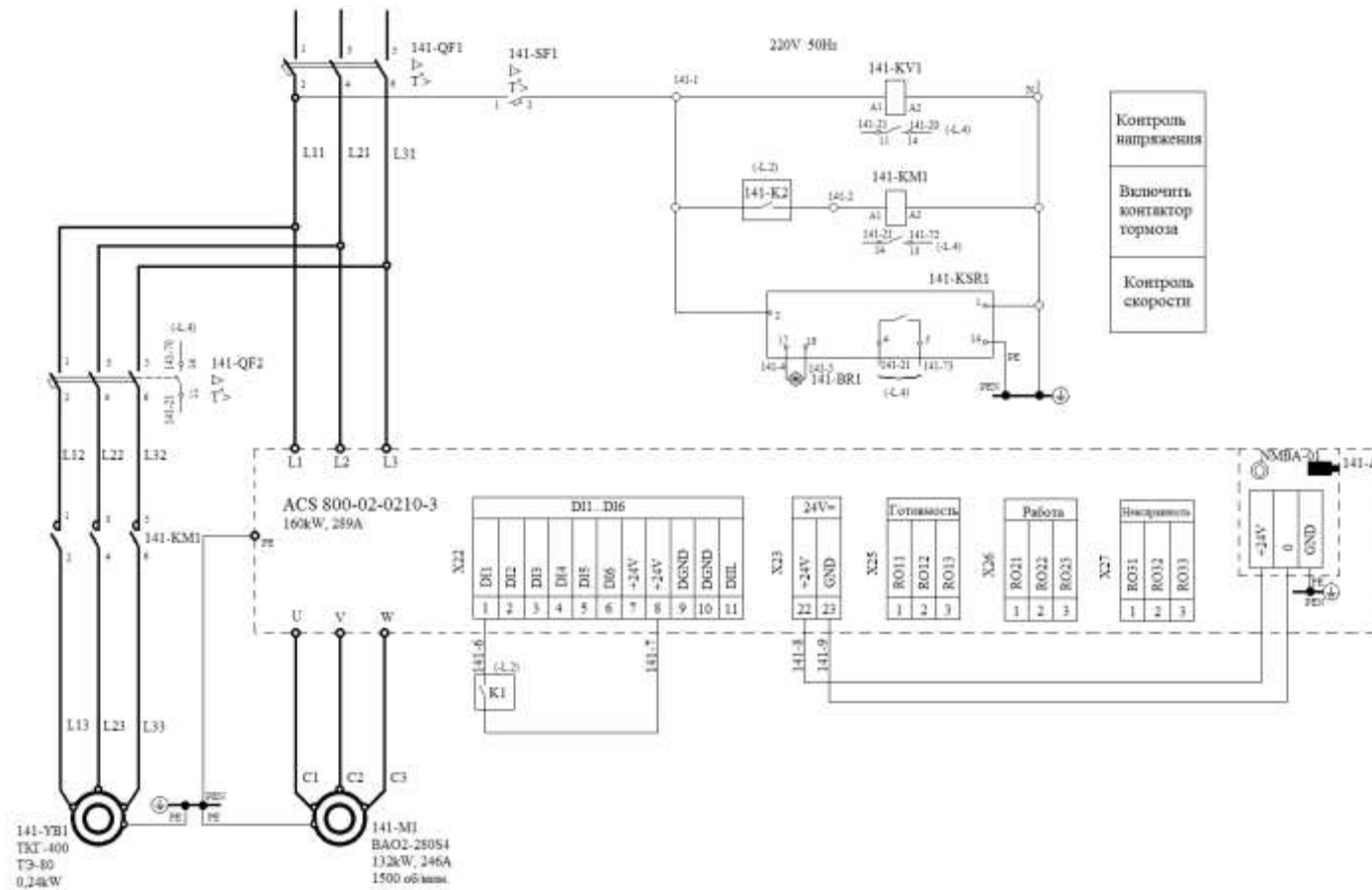


1 – груз; 2 - натяжное устройство; 3- барабан; 4 - загрузочное устройство; 5 - роликовая опора на холостой ветви ленты; 6 -роликовая опора на рабочей ветви ленты; 7 - тяговый элемент (лента); 8 - отклоняющий барабан; 9, 10 - разгрузочные устройства; 11 - разгрузочный желоб; 12 - устройство для очистки ленты.

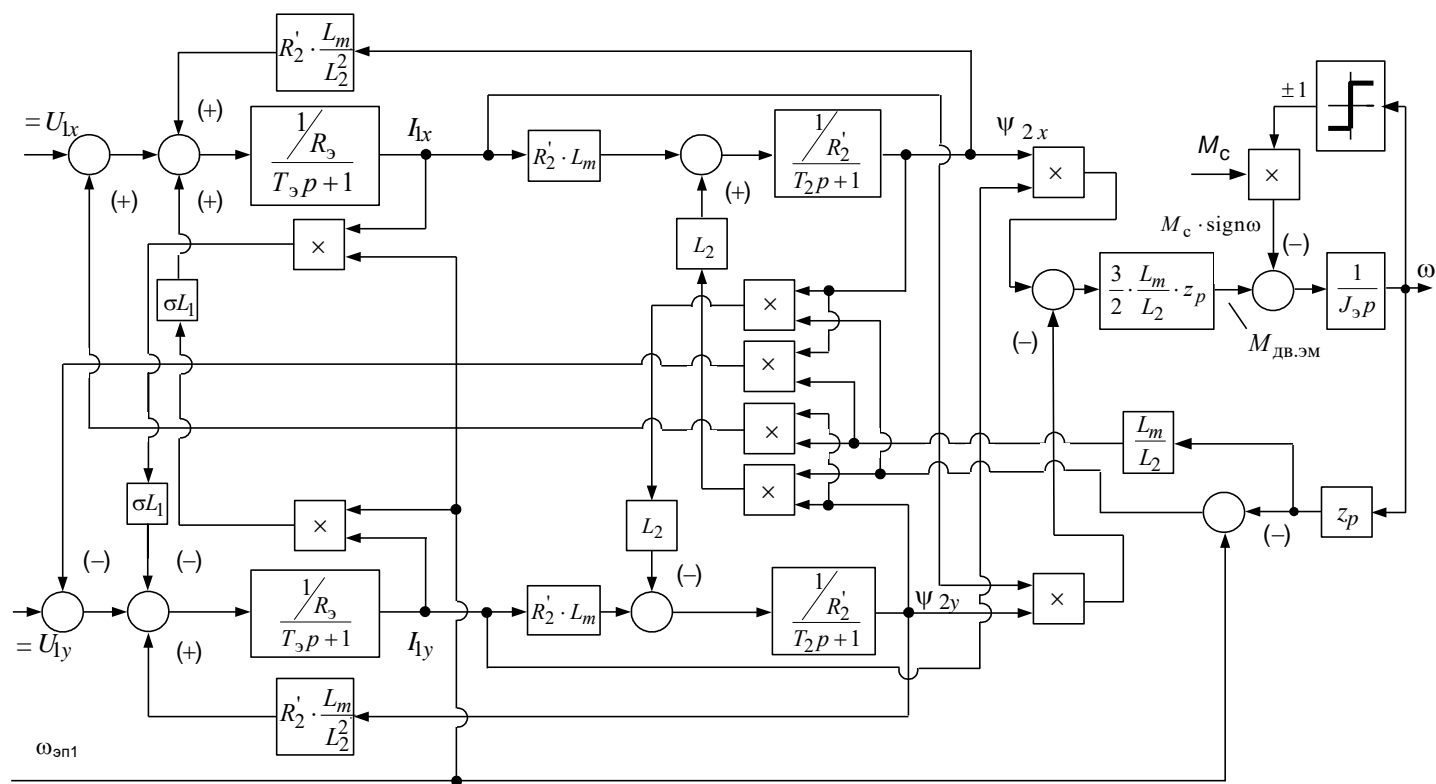
# Схема электрическая функциональная



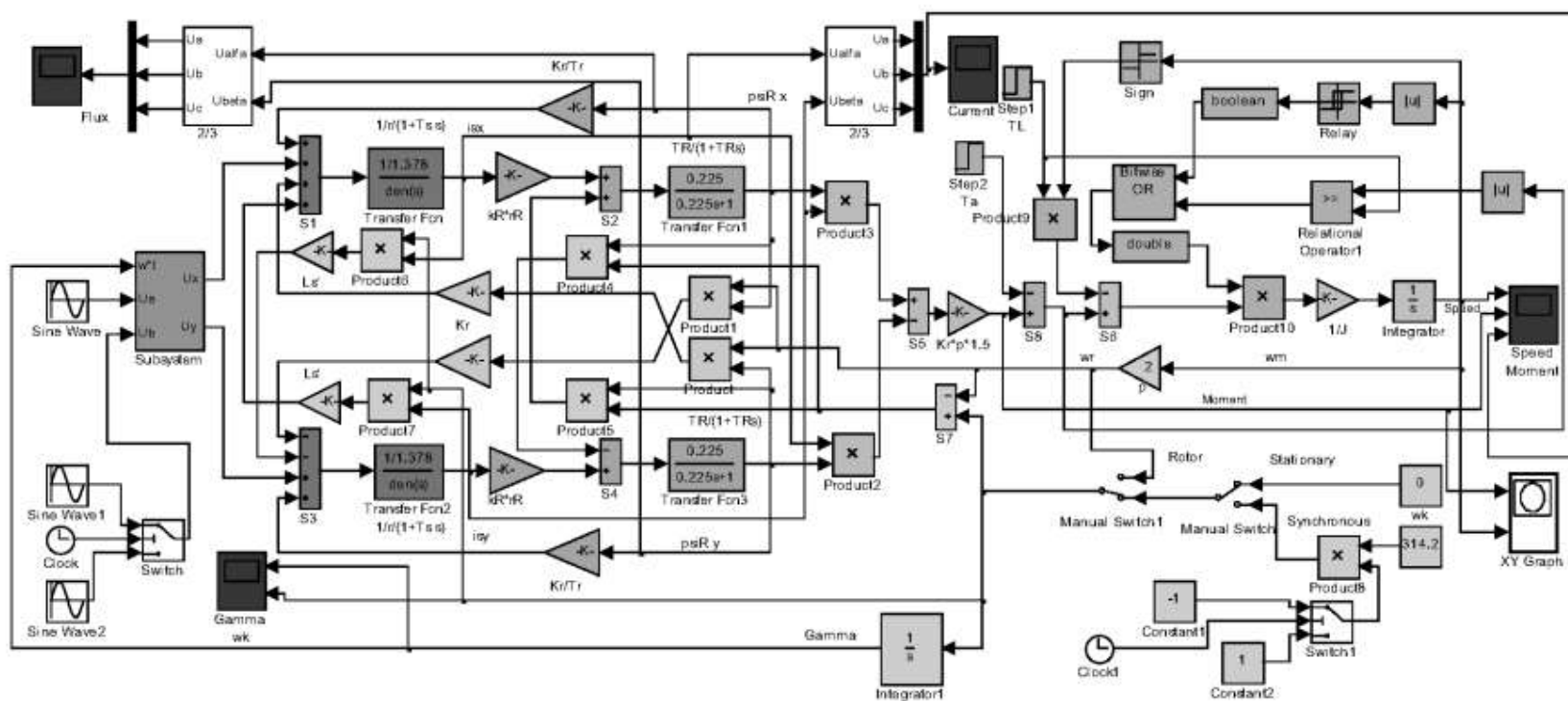
# Схема электрическая принципиальная



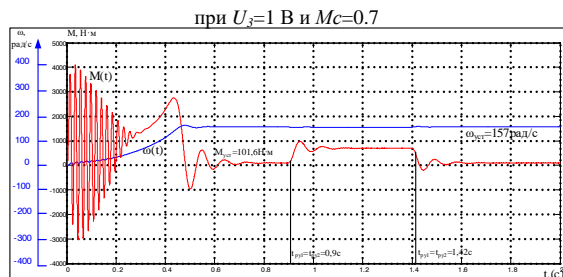
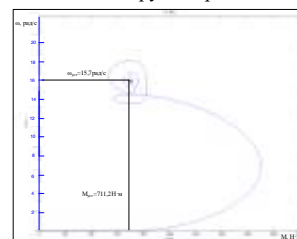
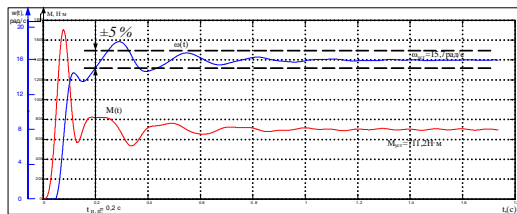
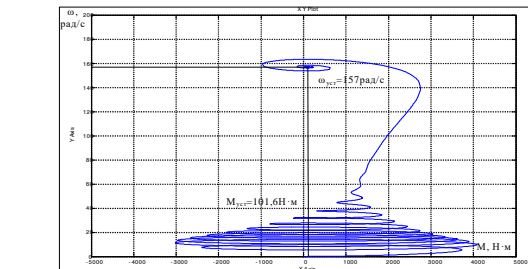
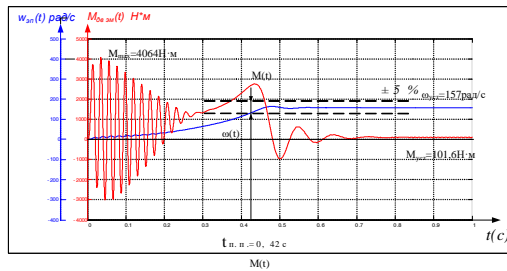
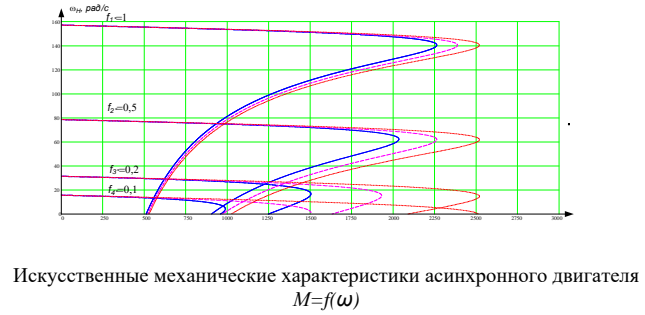
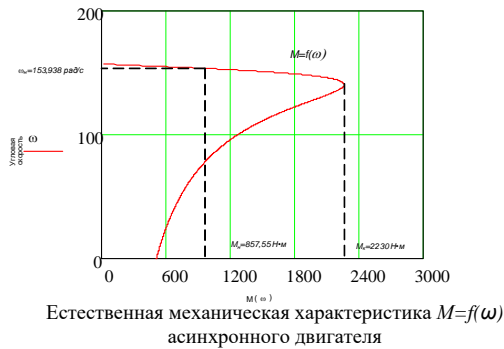
# Структурная схема асинхронного двигателя во вращающейся системе координат



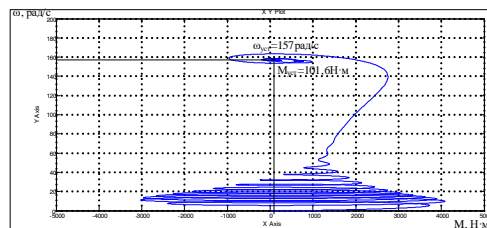
# Схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат



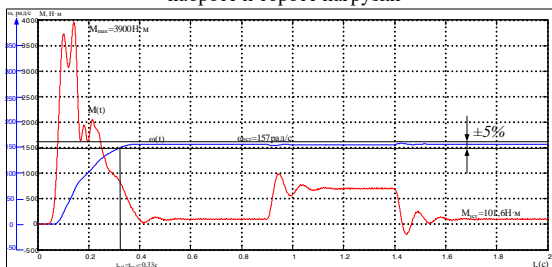
# Демонстрационный лист



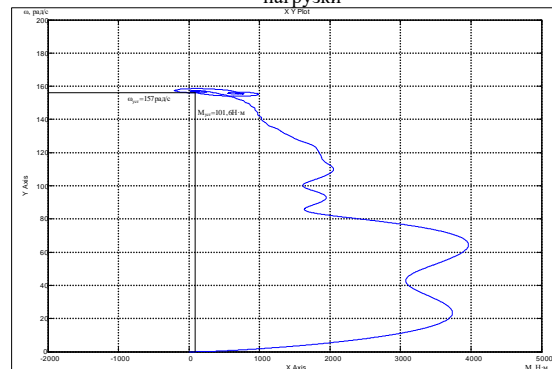
Динамическая механическая характеристика при  $U_3=1$  В и  $M_c=0.7$



Переходной процесс скорости и электромагнитного момента при набросе и сбросе нагрузки



Динамическая механическая характеристика при набросе и сбросе нагрузки



Динамическая механическая характеристика  $T_{ve}=25$ ;  $T_{he}=90$ .